

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS



RESPUESTA ECOFISIOLÓGICA DE ESPECIES ARBÓREAS A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

TRABAJO DE TITULACION EN LA MODALIDAD DE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA

CARLA CRISTINA MARTÍNEZ CHÁVEZ

Las Agujas, Zapopan, Jal., Diciembre de 2008



Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Coordinación de Titulación y Carrera de Licenciatura en Biología

1422/ C. C. BIOLOGÍA

C. CARLA CRISTINA MARTINEZ CHAVEZ

PRESENTE

Manifetamos a usted que con esta fecha ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de: **Tesis e Informes** opción **Tesis** con el titulo : **"Respuesta Ecofisiológica de especies arbóreas a la contaminación del aire"** para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos que ha sido aceptado como Director de dicho trabajo la **Dr. Eulogio Pimienta Barrios**

Sin más por el momento, le envío un caluroso saludo.

NOTA: La presente sustituye al oficio con número C.C./BIOLOGIA 1359 con fecha del 29 de julio de 2008.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"
Las Agujas, Zapopan., 28 de noviembre del 2008.

DR. FRANCISCO MARTÍN HUERTA MARTÍNEZ
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN



COORDINACIÓN DE LA CARRERA DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

P.A.

M en C. GLORIA PARADA BARRERA
SECRETARÍO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DIVISION DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

Dr. Fco. Martín Huerta Martínez.
Presidente del Comité de Titulación.
Licenciatura en Biología.
CUCBA.
Presente

Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad TESIS E INFORMES, opción TESIS con el título: **“Respuesta ecofisiológica de especies arbóreas a la contaminación del aire”** que realizó el/la pasante **Carla Cristina Martínez Chávez** con número de código **B04000064** consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

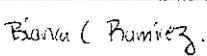
Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

Atentamente
Lugar y fecha.

Las Agujas, Zapopan., 5 de diciembre del 2008

Firma 
Nombre
Director del trabajo, Eulogio Pimienta Barrios

firma
nombre
Asesor(es)

Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
Blanca Catalina Ramírez Hernández		5 dic 2008
Julia Zañudo Hernández		5 dic 2008
Agustín Gallegos Rodríguez		5/12/2008
Supl. José María Chávez Anaya		5/12/2008

El presente estudio se realizó en el Laboratorio de Ecofisiología del Departamento de Ecología, en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara y en el vivero El Dean de la zona Miravalle del municipio de Guadalajara en el Área Metropolitana de Guadalajara, bajo la dirección del Dr. Eulogio Pimienta Barrios.

AGRADECIMIENTOS

Muchísimas gracias a Isaac Castillo, Alberto Vega, Dafne Pérez y a las doctoras Blanca Ramírez y Julia Zañudo, que sin su ayuda en este proyecto, éste trabajo no se hubiera podido llevar a cabo. También gracias al maestro Raymundo y Noemí por su ayuda en la identificación de algunas especies, y al maestro Pablo por su comprensión, apoyo y ayuda.

Agradezco por todo el apoyo brindado en el vivero El Dean.

DEDICATORIAS

Dedico mi tesis a mis papás que me han enseñado con su ejemplo que el esfuerzo y el trabajo, da frutos y por enseñarme a luchar por mis sueños y objetivos, a ser perseverante y no rendirme. Muy especialmente a mi mamá por su apoyo, ayuda y comprensión en momentos difíciles, aunque estuviéramos lejos.

A mi hermano latoso y fregón que también se esfuerza cada día para lograr sus objetivos.

RESUMEN

Las emisiones de contaminantes de la Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), rebasan las 1.4 millones de ton por año. Entre los contaminantes destaca el dióxido de carbono (CO_2). La vegetación urbana es una alternativa valiosa para capturar el CO_2 y remover contaminantes atmosféricos. En este estudio se evaluaron las respuestas ecofisiológicas, intercambio de gases, contenido de clorofila, tasa de crecimiento por día, potencial hídrico de tejido, fenología y flujo fotosintético de fotones (FFF) de once especies arbóreas en dos localidades, la primera en el vivero El Dean ubicado en la zona Miravalle del municipio de Guadalajara considerada con un mayor índice de contaminación, y la segunda localidad ubicada en el Departamento de Ecología del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara con menor índice de contaminación del aire. No se detectó una respuesta fotosintética que se pueda atribuir a las diferencias en el contenido de CO_2 entre ambos ambientes, ya que en la mayoría de las especies en estudio no se observaron diferencias en la capacidad de captura carbono, sin embargo, si se presentaron diferencias notables entre las especies evaluadas. Las especies con los valores más altos de captura de carbono fueron malvasisco (*Hibiscus mutabilis*) ($6.6 \text{ CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) galeana (*Spathodea campanulata*) ($4.7 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) y rosa morada (*Tabebuia rosea*) ($4.7 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) que mostraron las tasas más altas de crecimiento por día (0.15 cm. día, 0.18 cm. día, 0.12 cm. día), respectivamente, mientras que pirul brasileño (*Schinus terebenthifolius*) y trueno verde (*Ligustrum lucidum*) presentaron valores inferiores a $3 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$. Las especies que presentaron potenciales hídricos más altos en ambos lugares fueron la orquidea primavera (*Bahuinia variegata*) (-1.6 MPa) y galeana (-2.5 MPa). El pirul brasileño fue el árbol con el punto de saturación lumínica (FFF) más bajo con $400\text{-}800 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y las especies con el punto de saturación lumínica más alta fueron san josé ($700\text{-}1100 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), ficus ($700\text{-}1300 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), y orquidea primavera ($700\text{-}1400 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). En cuanto al contenido de clorofila no se observaron diferencias en las especies evaluadas entre El Dean y el CUCBA, lo cual nos permitió sugerir que la contaminación no causó estrés fisiológico en las especies arbóreas evaluadas. La rosa morada presentó la diferencia más alta en contenido de clorofila ($30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ en El Dean y $27 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ en el CUCBA), contrario a lo que se esperaba, sin embargo el ficus (*Ficus benjamina*) tuvo una cantidad más alta de clorofila en el CUCBA ($28 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) que en El Dean ($26 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). En base a estos resultados ecofisiológicos en este momento se recomienda utilizar la rosa morada, San José de la montaña (*Ehretia tinifolia*), el fresno (*Fraxinus udhei*) en climas templados, la galeana y la majagua (*Tilipariti tiliacium*) para plantar el AMG y otras áreas urbanas.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS	4
1. Descripción del Sitio de Estudio.	4
2. Especies Arbóreas Estudiadas.	5
3. Fenofases y Crecimiento Vegetativo.	5
4. Datos Microclimáticos.	5
5. Intercambio de Gases.	6
6. Contenido Foliar de Clorofila.	6
7. Análisis Estadístico.	6
RESULTADOS	8
DISCUSIÓN	22
CONCLUSIONES	32
RECOMENDACIONES	33
LITERATURA CITADA	34

ANEXOS

Anexo I	42
----------------	-----------

RESPUESTA ECOFISIOLÓGICA DE ESPECIES ARBÓREAS A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Carla Cristina Martínez Chávez

Director: Ph.D. Eulogio Pimenta Barrios

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire de las ciudades se ha convertido en un problema de salud pública en el mundo (McMichael, 2000), particularmente en las grandes ciudades de los países en desarrollo. (Klumpp *et al.*, 1999; McMichael, 2000; Yang *et al.*, 2005). Entre los contaminantes del aire destaca el dióxido de carbono (CO₂) debido a que es el principal gas de efecto invernadero. La actividad humana y los vehículos de transporte privado y público producen más del 80% de CO₂ en áreas urbanas (McMichael, 2000; Grattani 2006; Bettencourt, 2007), ocasionando una baja calidad del aire, la cual afecta la salud humana y también afecta a las áreas agrícolas cercanas, a causa del transporte de masas de aire contaminadas de las ciudades (Klumpp *et al.*, 1999; Grimm, 2008). La información sobre los efectos de contaminación del aire en la vegetación en ecosistemas urbanos es muy escasa y esta se ha limitado a la emisión de contaminación del aire proveniente de fuentes industriales y de tráfico (Bell y Marshall, 1999; Klumpp *et al.*, 1999; Yang *et al.*, 2005; Grimm, 2008). Los países que han realizado más investigación sobre este problema ambiental son la India y China, superando a Estados Unidos (Klumpp *et al.*, 1999).

En los últimos años la contaminación del aire se ha agravado en el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), debido a que las emisiones de contaminantes rebasan las 1.4 millones de ton por año. Gran parte de estas emisiones (75%) provienen del transporte. Como consecuencia de estas emisiones en los últimos años se han registrado problemas de contingencia ambiental en estaciones del año en que era poco común que se presentaran, y el porcentaje de días por año en los que se rebasa la norma es cercano al 40% (SEMADES, 2007).

La captura de carbono (CO₂) por la vegetación urbana es una alternativa valiosa para capturar el CO₂, y remover contaminantes atmosféricos (CO₂, CO, SO₂, NO₂, O₃, y partículas menores a 10µ o PM10) (Nowak, 2000; Arnalds, 2004; Grattani, 2006). Se estima que un árbol grande-maduro puede almacenar aproximadamente 3 ton.m⁻³ de C y este puede llegar a ser 1000 veces más alto que el carbón almacenado por árboles pequeños (Nowak and Dwyer, 2007). Lo anterior indica que un incremento significativo en el número de árboles en la ciudad podría moderar la intensidad de la "isla de calor" urbana alterando el balance del calentamiento de la ciudad entera y además, reduciría el consumo y costo de energía (Rowntree, 1990; Grattani, 2006). Con una apropiada selección de especies y una adecuada planeación, diseño y manejo, los árboles urbanos pueden mitigar muchos impactos ambientales del desarrollo urbano, moderando el clima, mejorando la calidad del aire, alterando la velocidad de los vientos, creando sombra, reduciendo los niveles de ruido, disminuyendo las inundaciones, reduciendo el dióxido de carbono, el uso de energías por los edificios y la temperatura del aire, por lo tanto, creando beneficios al ambiente urbano, al bienestar de la gente y reduciendo costos (Nowak, 2000; Grattani, 2006; Nowak y Dwyer, 2007).

Hasta donde se tiene conocimiento en México no se han realizado estudios ecofisiológicos o funcionales sobre la respuesta de especies leñosas en ambientes urbanos a la contaminación con énfasis en la captura de CO₂ y otros contaminantes del aire como óxidos de nitrógeno (NO₂) y de azufre (SO₂), y monóxido de carbono (CO), eficiencia en el uso del agua, fenología y crecimiento, entre otros. El conocimiento que se genere en torno a la plasticidad fisiológica en particular la fotosintética en especies arbóreas urbanas y su aclimatación al calentamiento global puede ser de gran utilidad para implementar modelos de respuesta de ecosistemas urbanos a este cambio global (Luo *et al.*, 1996; Tissue *et al.*, 1999). En el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) se emplean más de 120 especies para reforestar esta zona. La información disponible en las dependencias estatales y federales en las que se describen la mayoría de especies arbóreas que se emplean para reforestar la AMG carece de información sobre aspectos ecofisiológicos, o los servicios que puede prestar la vegetación a los ambientes urbanos, por lo que es oportuno generar esta información. La identificación de especies que tienen una mayor capacidad de captura de carbono, longevidad foliar, tolerancia a la

sequía, y altas tasas de crecimiento, entre otros serán de gran utilidad para reducir la contaminación del aire en el AMG. El objetivo de este estudio es identificar y seleccionar especies arbóreas urbanas con alta capacidad de captura de carbono y tolerancia a la sequía, que contribuyan a corto plazo a reducir la contaminación del aire en el AMG, y a largo plazo ayuden a mitigar los efectos combinados de la contaminación del aire y el calentamiento global en el AMG.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. **Descripción del Sitio de Estudio.** El estudio se llevó a cabo en dos localidades; uno de ellos se encuentra en el Área Metropolitana de Guadalajara con un mayor índice de contaminación (Ubicado en el vivero El Dean, en la zona Miravalle del municipio de Guadalajara), la cual es considerada como una zona de fragilidad ambiental (debido a los recurrentes niveles de contaminación atmosférica presentes en esta área (González, 2007), en la cual las partículas suspendidas en el aire, son altos y superan al mínimo que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-024-SSA1-1993). La segunda localidad con menor índice de contaminación del aire se localiza en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara (U de G), ubicado en el km 15.5 fuera del AMG hacia la carretera Nogales.

Las plantas se establecieron bajo las mismas condiciones que se trasplantan en áreas abiertas (parques y jardines). Los árboles tienen una edad promedio de dos años y se colocaron en bolsas para vivero de 20 L con el sustrato (agrogel y composta).



Imagen del CUCBA obtenida de Google Earth.

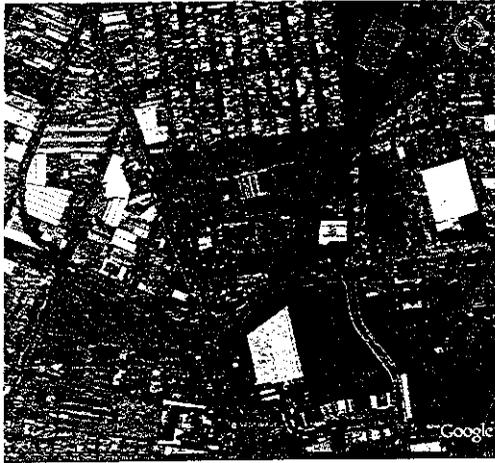


Imagen del vivero El Dean obtenida de Google Earth.

2. **Especies Arbóreas Estudiadas.** Fresno (*Fraxinus udhei*), majagua (*Tilipariti tiliacium*), flama china (*koelreuteria paniculata*), pirul brasileño, (*Schinus terebinthifolius*), malvavisco (*Hibiscus mutabilis*), trueno verde (*Ligustrum lucidum*), rosa morada (*Tabebuia rosea*), san josé de la montaña (*Ehretia tinifolia*), ficus (*Ficus benjamina*), galeana o tulipán africano (*Spathodea campanulata*) y orquídea primavera (*Bauhinia variegata*).

3. **Fenofases y Crecimiento Vegetativo.** El crecimiento vegetativo se registró cada mes en ramas de 11 especies leñosas perennifolias y caducifolias de dos años de edad (6 repeticiones) y los principales eventos fenológicos (crecimiento axial de ramas, senescencia, abscisión foliar, y desarrollo de la flor y fruto) se determinaron cada mes en las 11 especies (con 10 repeticiones cada uno) en las dos localidades en estudio (Pimienta y Ramírez, 2003).

4. **Datos Microclimáticos.** El flujo fotosintético de fotones [FFF, longitud de onda de 400 a 700 nanómetros (nm)], se registró mensualmente cada hora desde la

salida, hasta la puesta del sol usando un sensor cuántico LI-190S (Li-Cor, Lincoln NE). (Pimienta y Ramírez, 2003)

La determinación del contenido de humedad del suelo se realizó también cada mes. En cada especie arbórea fueron colectadas cinco muestras de suelo (a una profundidad de 15 cm) en los dos sitios de estudio. Estas fueron posteriormente colocadas en una estufa de incubación donde se secaron a 80°C hasta que el peso de las muestras no mostró cambios significativos (aproximadamente 72 h). Los datos se expresaron en porcentaje de humedad (Torres 1984). La temperatura del aire se midió con un termómetro de mercurio y la humedad relativa con un medidor digital de humedad (RadioSchack, Los Angeles, CA, USA). Los datos de la precipitación se obtuvieron de la estación meteorológica proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA).

5. Intercambio de Gases. Las mediciones de intercambio de gases se efectuaron una vez cada mes durante primavera y verano, en 11 especies arbóreas de dos años de edad con 10 repeticiones en cada sitio de estudio. La asimilación neta de CO₂, y el CO₂ intercelular se registraron cada dos horas desde la salida, hasta la puesta del sol (de las 7 a 19 horas), con un equipo de fotosíntesis Li-Cor 6200 equipado con una cámara de 0.25 L. El intercambio de gases se registró en hojas elegidas al azar de diferentes ubicaciones (Pimienta y Ramírez, 2003).

6. Contenido Foliar de Clorofila. Para la determinación de clorofila, se usaron 4 discos de tejido fresco de hojas maduras cada uno con un área de 0.96cm². Estas fueron maceradas en un mortero frío con 4 mL de acetona (80%). El extracto se centrifugó a 12,000 g por 10 minutos, y se colectó el sobrenadante. Al precipitado se le adicionaron 80% de acetona y se centrifugó como en el caso anterior. Los sobrenadantes fueron combinados y se emplearon para realizar el análisis de clorofila (Bruinsma, 1961).

7. Análisis Estadístico. Se hizo un diseño completamente al azar, utilizando una tabla de números aleatorios.

Después de analizar normalidad y homogeneidad de varianza se realizaron pruebas de t-Student a las variables de captura de carbono y potencial hídrico entre las dos localidades por especie. Con una prueba de T-Student, se compararon los contenidos promedio de clorofila para todas las especies en estudio en ambos lugares. También se realizaron análisis de correlación para probar las relaciones entre asimilación neta de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-2}$) y flujo fotosintético de fotones (FFF).

RESULTADOS

El Flujo fotosintético de fotones para la fotosíntesis (FFF) fue mayor en los meses de marzo y mayo en el CUCBA y menor en los meses de abril, junio, julio y agosto y en El Dean fue menor en mayo, junio y julio y mayor en marzo, abril y agosto. Al inicio de la primavera y en agosto, el FFF fue más elevado en El Dean que en el CUCBA. A partir de mayo cuando comenzaron las lluvias y hasta julio el FFF fue más alto en el CUCBA que en El Dean. El promedio de FFF durante el período de estudio fue de $738 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en el CUCBA y $756 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en El Dean. El valor más alto se registró en el mes de marzo ($1128 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en El Dean y en el CUCBA en mayo ($1019 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Fig. 1).

Durante la primavera, en general, la humedad relativa fue más alta en El Dean que en el CUCBA, sin embargo, en junio cuando empezaron las lluvias, la humedad relativa aumentó, y por tanto en junio, julio y agosto fue más alta en el CUCBA que en El Dean. El valor más alto de humedad relativa (69%) fue registrado en julio en el CUCBA, que fue más alto que el registrado en El Dean (63%). El valor más bajo fue de 17% en marzo en El Dean y 17% en mayo en el CUCBA (Fig. 1).

Los promedios mensuales diarios de temperaturas extremas del aire durante el día oscilaron entre 21 Y 27°C en El Dean y 21 y 26°C en el CUCBA. Los dos meses más calurosos fueron marzo y abril en ambas localidades. La precipitación pluvial total en el período fue de 869 mm en el CUCBA y 670 mm en El Dean (de mayo a agosto de 2007) (Fig. 1).

El contenido de humedad en el suelo en El Dean fue de 17% en marzo hasta 63% en julio, y en el CUCBA fue de 18% en mayo hasta 69% en julio (Fig. 1). En mayo se puede observar que por una ligera precipitación en ambos lugares de estudio, se comienza a elevar la humedad relativa y al contrario de esto la temperatura del ambiente comienza a descender en ambas localidades (Fig. 1).

En mayo, se observan diferencias más grandes entre el Dean y el CUCBA en cada una de las mediciones de variables ambientales a excepción del contenido de humedad en el suelo, esto puede ser debido a que las fechas de medición entre uno y otro fueron de una semana de diferencia, además esa semana en El Dean hubo nubes,

esta debió ser la razón de un bajo FFF, una baja temperatura y una alta humedad (Fig. 1).

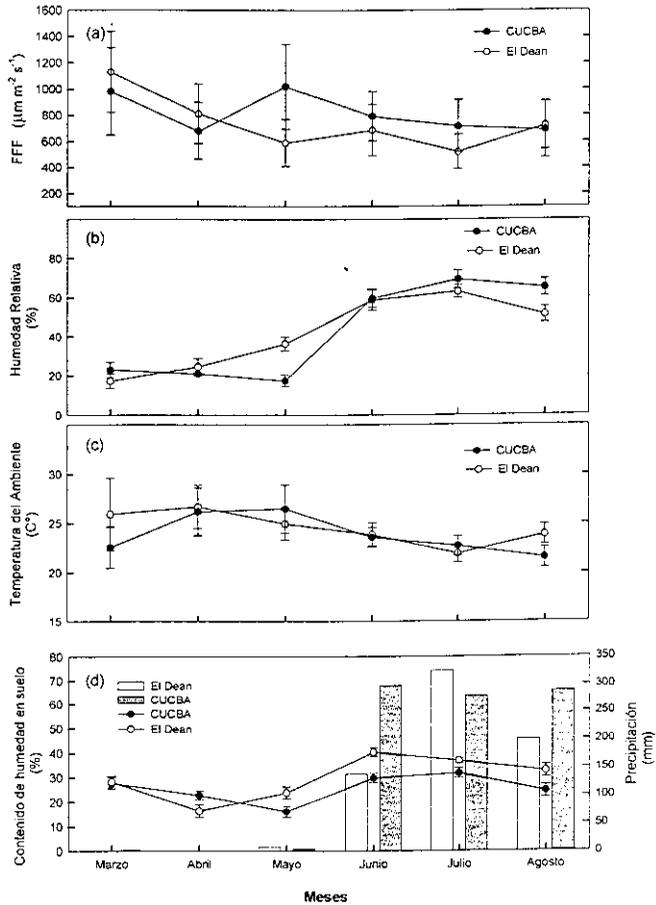


Fig. 1. Variables microclimáticas registradas en CUCBA y El Dean. Flujo fotosintético de fotones (FFF) Temperatura del aire (°C) y Humedad relativa, Precipitación pluvial (mm) y Contenido de humedad del suelo (%).

De las once especies de árboles estudiadas, el malvavisco (*Hibiscus mutabilis*) resultó ser la especie que presentó los valores más altos de captura de carbono ($6.8 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) en la localidad con menor grado de contaminación (CUCBA), valor que fue muy cercano al observado en el sitio con mayor contaminación (El Dean) con $6.5 \text{ kg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (Fig. 2).

En el pirul brasileño (*Schinus terebinthifolius*) se observaron los valores más bajos de captura de carbono, en el CUCBA con $2.3 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ y en El Dean ($2.5 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) (Fig. 2).

La mayoría de las especies estudiadas mostraron valores más altos de ganancia de carbono cuando es baja la contaminación del aire (CUCBA) que cuando es alto (El Dean). Las especies no fueron afectadas significativamente por la contaminación. En la orquídea primavera la contaminación redujo el 36.17% la asimilación de CO_2 ; en el resto las reducciones oscilaron entre el 1 y 14%. San José de la montaña y el pirul brasileño tuvieron una asimilación ligeramente más alta (5 Y 6%) en El Dean que en CUCBA, lo cual puede probar cierta tolerancia a la contaminación del aire. (Fig. 2).

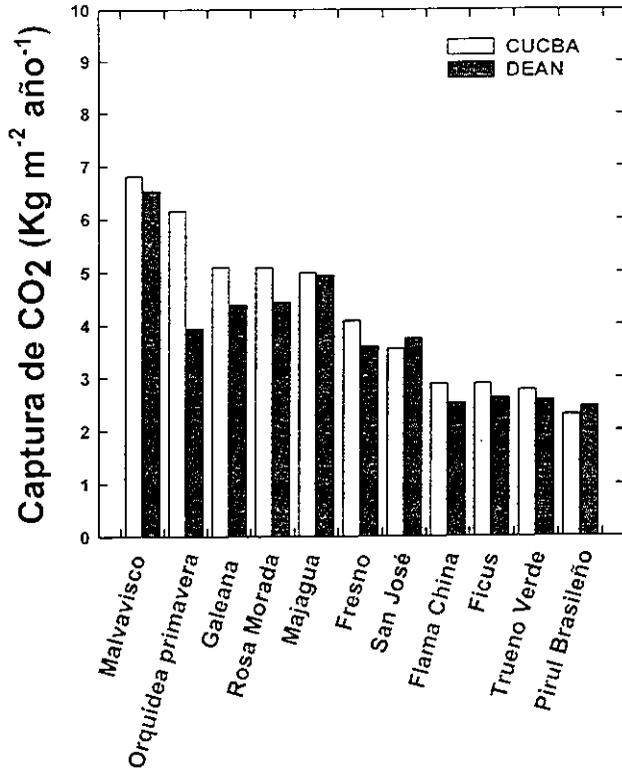


Fig.2. Capacidad de captura de carbono de especies arbóreas en el CUCBA y en El Deán.

No se observaron diferencias en el contenido de clorofila en las especies evaluadas al comparar este entre El Dean y el CUCBA, y aunque sí hay diferencias entre especies esta no es tan grande. La especie que presenta la diferencia más alta en contenido de clorofila, es la rosa morada, teniendo mayor cantidad de clorofila en el vivero El Dean (30 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) que en el CUCBA (27 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$), contrario a lo que se esperaba. Sin, embargo el ficus (*Ficus benjamina*) mostró tener una cantidad más alta de clorofila en el CUCBA (28 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) que en El Dean (26 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$). Con una prueba de T-Student, se compararon los contenidos promedio de clorofila para todas las especies en estudio en ambos lugares, y no se encontró evidencia de que dichos contenidos fueran distintos. Valor de T: 0.0237113604; Valor de P: 0.9813178275; Grados de libertad: 20 (Fig. 3).

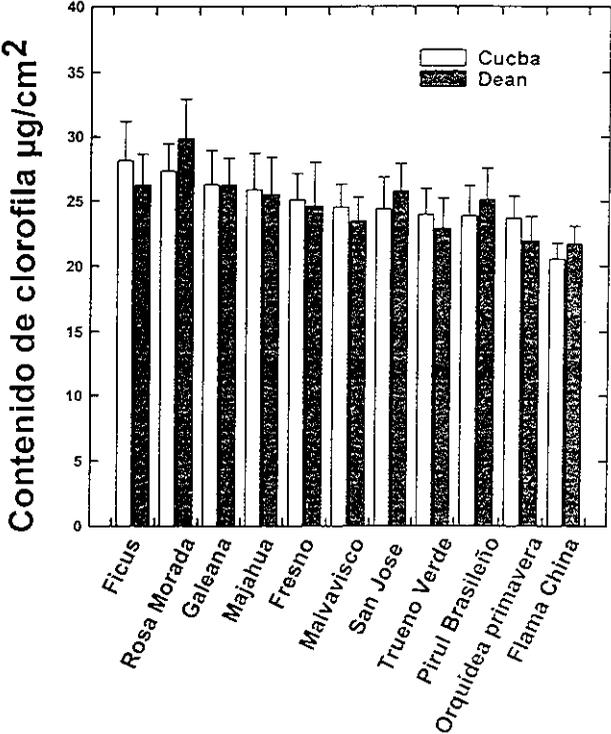


Fig. 3. Contenido de clorofila en especies arbóreas en el CUCBA y en El Dean.

La mayoría de las especies (siete de las once especies) tuvieron un potencial hídrico en el tejido de sus hojas, más bajo en El Dean que en el CUCBA. Únicamente cuatro de ellas (Galeana, ficus, flama china y pirul) tenían un potencial hídrico más bajo en el CUCBA que en El Dean, sin embargo estas diferencias no fueron significativas. La galeana fue la especie que tuvo el potencial hídrico más alto en El Dean (-1.7 MPa), y por tanto la que resistió más la sequía en esta localidad. Las especies que más resistieron la sequía en ambos lugares son orquídea primavera, malvavisco, rosa morada y galeana. Con una prueba de T-Student, se compararon los promedios de potencial hídrico de tejido para todas las especies en estudio en ambos lugares, y no se encontró evidencia de que fueran distintos. Valor de T: 0.4632694381; Valor de P: 0.6481729181; Grados de libertad: 20 (Fig. 4).

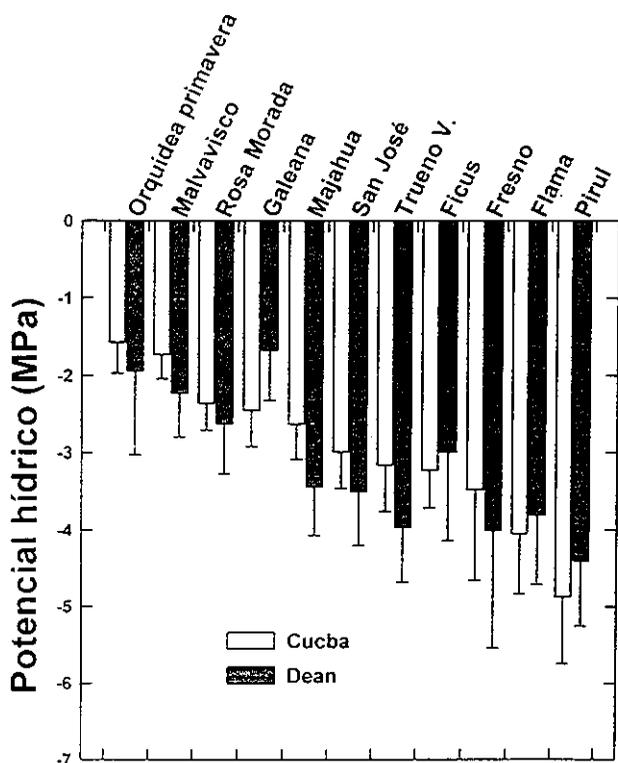


Fig. 4. Potencial hídrico de tejido en especies arbóreas en dos localidades, una de ellas altamente contaminada (El Dean) y la otra como testigo (CUCBA). Los índices denotan diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada localidad.

En general las especies de árboles que se evaluaron, crecieron más en el CUCBA que en El Dean. La tasas más altas de crecimiento fueron registradas en el CUCBA, galeana con 0.1769 cm.día, malvavisco (0.1534 cm.día) y rosa morada (0.1180 cm.día) mientras que orquídea primavera (0.0994 cm.día), pirul brasileño (0.0802 cm.día) y ficus (0.0488 cm.día) presentaron tasas altas en El Dean. La especie que tuvo la tasa más baja

de crecimiento por día fue el fresno con 0.0084 cm.día en el CUCBA y 0.0064 cm.día en El Dean (Fig. 5).

Majahua a pesar de tener un constante crecimiento (0.0228 cm.día en el CUCBA) y (0.0151 cm.día en El Dean) en los seis meses que la medimos presentó una tasa de crecimiento por día, baja, comparada a la alta asimilación de CO₂ que tiene. Con una prueba de T-Student, se compararon los promedios de crecimiento para todas las especies en estudio en ambos lugares, y no se encontró evidencia de que dichos promedios fueran distintos. Valor de T: 0.2672309077; Valor de P: 0.7920276201; Grados de libertad: 20 (Fig. 5).

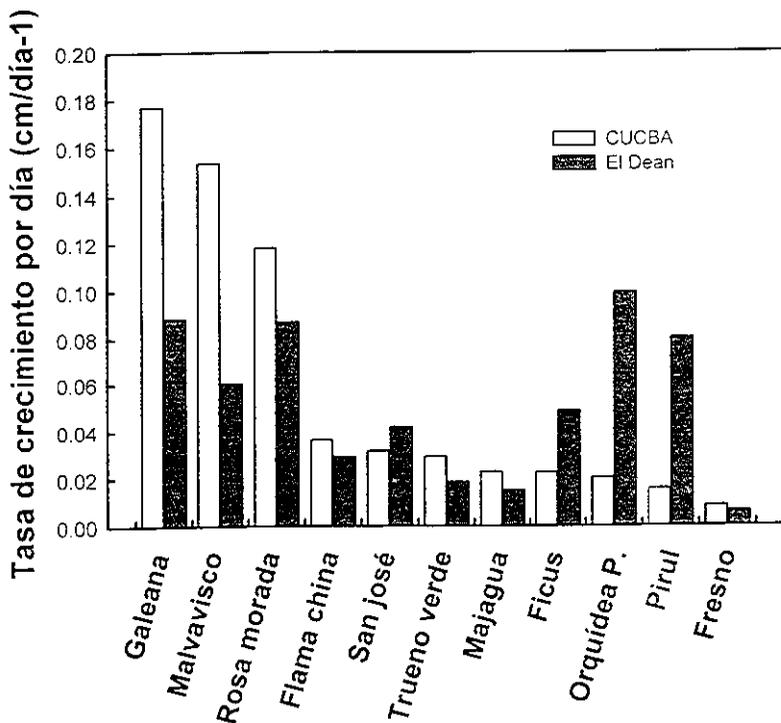


Fig. 5. Tasa de crecimiento diario en ramas (cm.día), en especies arbóreas en el CUCBA y en El Dean.

FECHAS DE OCURRENCIA DE FENOFASES

Los tallos y ramas del fresno (*Fraxinus udhei*), en el CUCBA, crecieron de abril a julio (primavera y verano) y la senescencia de sus hojas comenzó en agosto (verano), mientras que en el vivero El Dean, los tallos y ramas crecieron principalmente durante la primavera (marzo, abril y mayo), pero también durante el verano (Julio y agosto).

La majagua (*Tilipariti tiliacium*), fue la única especie que mantuvo su crecimiento durante todo el experimento, de marzo a agosto, presentó más flujos apicales que flujos laterales, los flujos apicales tuvieron un crecimiento constante tanto en el CUCBA como en El Dean, en el CUCBA hubo abscisión de hojas y senescencia en julio y en El Dean hubo senescencia de hojas en julio y abscisión solamente en agosto.

En el CUCBA, la flama china (*Koelreuteria paniculata*), se observó que el crecimiento fue de abril a julio (Primavera y parte del verano) y la senescencia de julio a agosto (verano), mientras que en El Dean inició su crecimiento en marzo y finalizó en julio (verano), sin embargo en agosto se observaron un poco de flujos laterales. Se observó senescencia en sus hojas en julio y agosto (Verano) y en agosto el árbol comenzó a presentar abscisión de sus hojas.

Pirul brasileño (*Schinus terebinthifolius*). En el CUCBA esta especie presentó un número relativamente alto de flujos laterales de marzo a junio (primavera), sin embargo hubo más crecimiento de flujos apicales que de laterales y el crecimiento en general fue de marzo a julio. Su fenofase reproductiva inició en mayo y se prolongó hasta agosto, y los frutos se formaron de junio a agosto. En El Dean, de abril a junio (primavera e inicio del verano) es donde se observó más crecimiento incluyendo los flujos apicales. En junio inició su fase reproductiva y se prolongó hasta agosto: los frutos se formaron de julio a agosto que finalizó la medición. Las hojas comenzaron a senescer en agosto y también comenzó la abscisión de sus hojas.

Malvavisco (*Hibiscus mutabilis*). En esta especie se presentaron más los flujos apicales que los laterales y presentó un crecimiento más activo que en las otras especies en estudio. En el CUCBA, los flujos laterales aparecieron durante la primavera (marzo a mayo) y los flujos apicales se evidenciaron de mayo a agosto (Parte de la primavera y verano), esta especie floreció de julio a agosto (verano) y los frutos se comenzaron a formar en agosto. La senescencia y abscisión de las hojas comenzó a partir de julio y terminó en agosto (verano). En El Dean los flujos se observaron desde marzo hasta agosto (primavera y verano). En agosto (verano), el arbusto comenzó a florecer y en el mismo mes empezó a formar los frutos. Se observó senescencia foliar desde junio a agosto (verano) la cual fue acompañada de la abscisión de sus hojas.

En el trueno verde (*Ligustrum lucidum*), en el CUCBA, se observó más crecimiento de flujos laterales de marzo a julio (primavera y verano), y de finales de junio a agosto (verano) principalmente crecimiento de flujos apicales. La senescencia de hojas se observó de julio a agosto y la abscisión solamente en julio (verano). En El Dean, de marzo a mayo (primavera) fue donde se observó más crecimiento, sin embargo en julio también hubo brotes de flujos laterales. No se observó senescencia en las hojas y por lo tanto tampoco abscisión de estas.

Rosa morada (*Tabebuia rosea*). Tanto en el CUCBA como en El Dean el crecimiento solo se presentó en flujos apicales, en el CUCBA fue de marzo a agosto (primavera y verano) y la senescencia de sus hojas fue de julio a agosto (verano) presentando caída de hojas solamente en agosto. El crecimiento en El Dean fue de marzo a agosto (primavera y verano). A finales de junio (verano) y agosto se observó senescencia y abscisión de hojas.

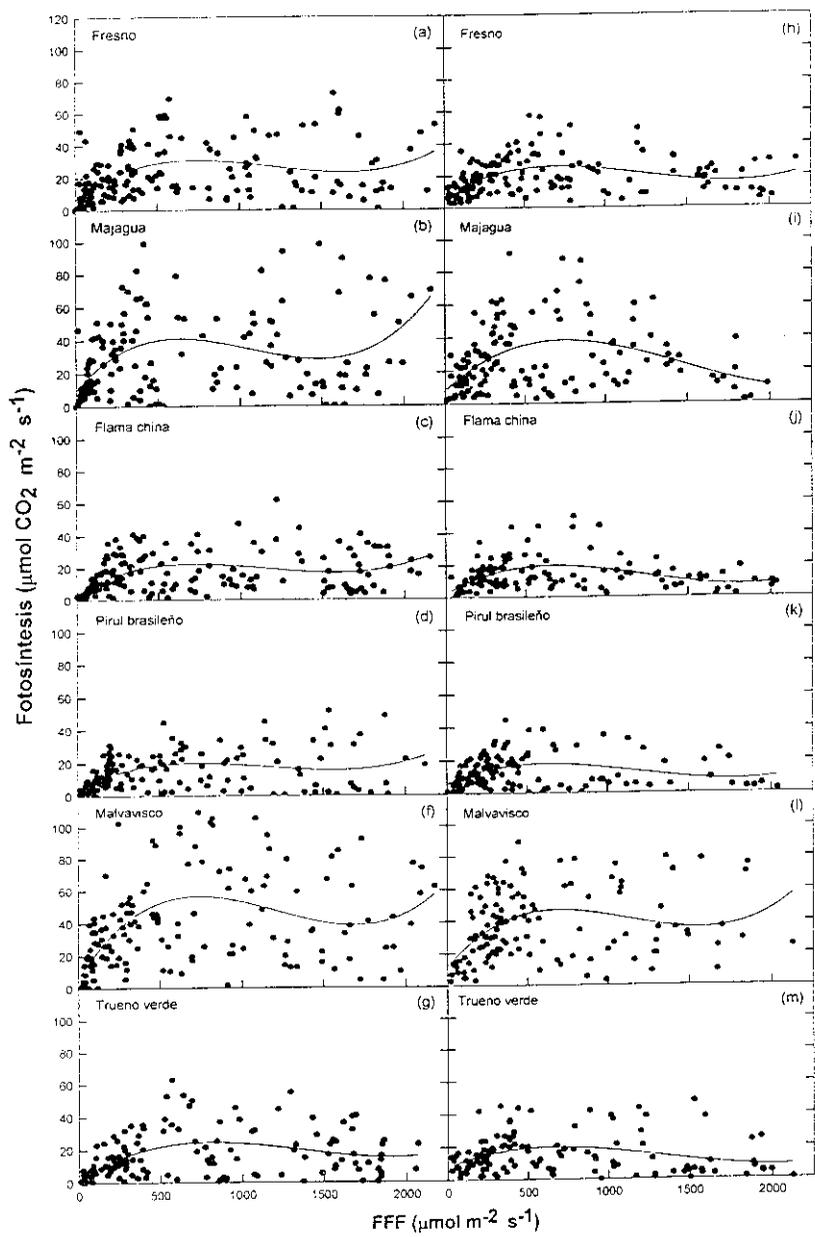
El crecimiento en el CUCBA de san José (*Ehretia tinifolia*), tanto de flujos laterales como apicales fue en abril y mayo (primavera) y, en agosto (verano). En abril (primavera) brotaron las flores y los frutos se presentaron en abril y mayo (primavera). La senescencia de las hojas fue de julio a agosto (verano). En El Dean, el crecimiento en los primeros meses (abril y mayo), durante la primavera, se presentaron muchos flujos

laterales, sin embargo se presentaron flujos apicales desde marzo hasta agosto (primavera y verano). Su fenofase reproductiva inició en marzo y se prolongó hasta agosto (primavera y verano). En Junio se empezaron a formar los frutos, y se dejaron de observar hasta agosto (verano) que finalizó la medición. Se observó senescencia y abscisión solo en agosto (verano).

Ficus (Ficus benjamina). Esta especie solo presentó flujos apicales, y en el CUCBA estos crecieron de junio a agosto (verano), su fenofase reproductiva se presentó en julio, sin embargo, posteriormente los frutos no se pudieron diferenciar al igual que en El Dean. La senescencia de las hojas se observó de julio a agosto (verano) y la abscisión de estas solamente en julio. En El Dean, se presentó crecimiento de julio a agosto. Posteriormente se observó que en septiembre y octubre hubo pocas flores pero esto ya no fue registrado, al igual que la abscisión y senescencia de hojas.

La galeana (*Spathodea campanulata*), en el CUCBA, los flujos tanto laterales como apicales crecieron de julio a agosto (verano). La abscisión y senescencia de hojas se observó en julio y agosto (verano). En El Dean, el crecimiento se presentó de julio a agosto (verano), aunque esta especie también presentó flujos laterales, se observó más crecimiento de flujos apicales. La abscisión de hojas y la senescencia de estas se presentó en agosto (verano).

Orquídea de árbol. (*Bauhinia variegata*). En el CUCBA, el crecimiento de esta especie fue de junio y agosto (verano) y la abscisión de hojas y senescencia de estas se observó en agosto (verano). En El Dean, solo se observó crecimiento en julio y en agosto (verano); se observó senescencia y abscisión de las hojas en agosto.



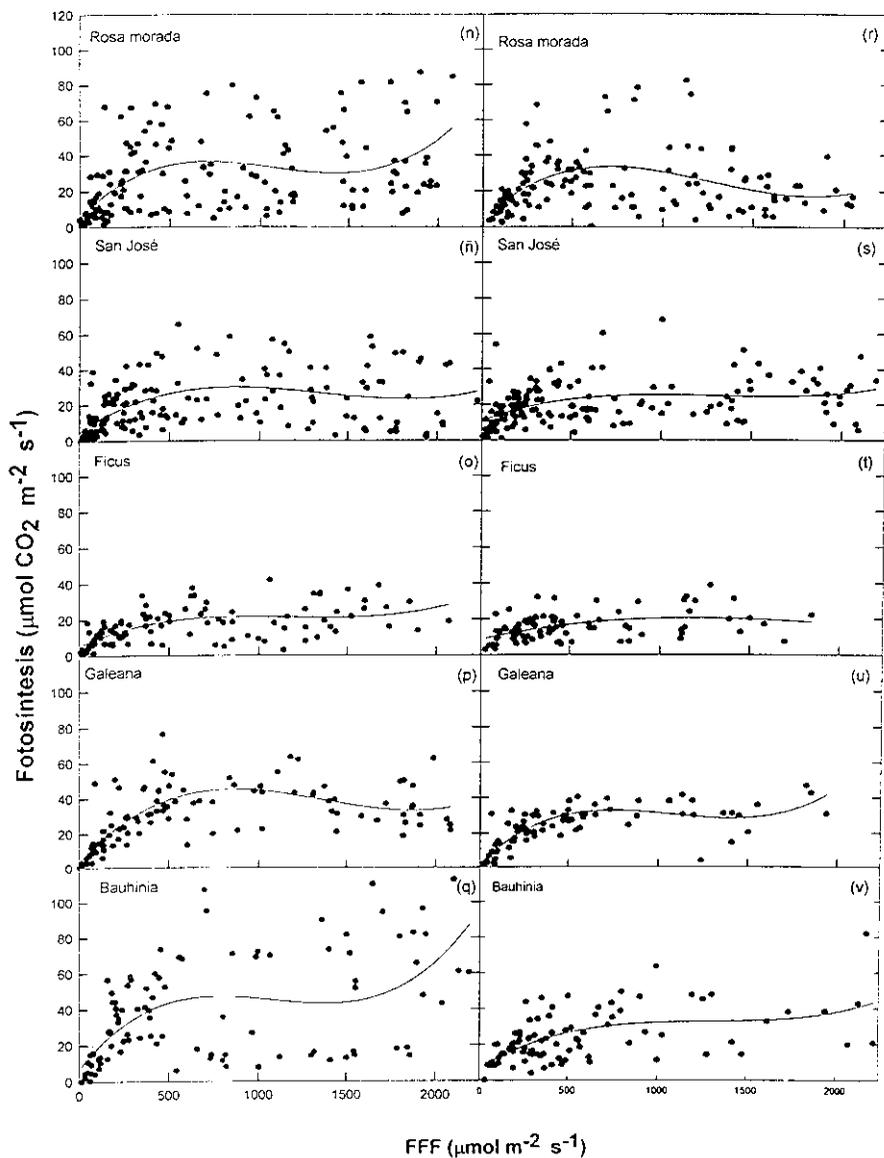


Fig. 6. Diagrama de dispersión de las tasas instantáneas de asimilación de CO_2 en las especies arbóreas y el flujo fotosintético de fotones (FFF). Los paneles el lado

izquierdo corresponden a las mediciones realizadas en el CUCBA y del derecho las realizadas en El DEAN.

Todas las especies tuvieron un punto de saturación lumínica arriba de $300 \mu\text{m fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$. El pirul brasileño fue el árbol con el punto de saturación lumínica más bajo ($400\text{-}800 \mu\text{m fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y las especies con el punto de saturación lumínica más alta fueron san José ($700\text{-}1100 \mu\text{m fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ficus ($700\text{-}1300 \mu\text{m fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$), y orquídea primavera ($700\text{-}1400 \mu\text{m fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$). (Fig. 6)

Las tasas instantáneas de asimilación de CO_2 tendieron a ser más altas en el CUCBA que en El Dean, las especies con las tasas instantáneas de asimilación de CO_2 más altas fueron malvavisco (1 a $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en el CUCBA y en El Dean de 3 a $89 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, la orquídea primavera de 2 a $118 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en el CUCBA y de 4 a $82 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, la majagua de 1 a $99 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en el CUCBA y en El Dean de 1 a $91 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y la rosa morada en el CUCBA de 1 a $96 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y en El Dean de 1 a $82 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mientras que las especies con las tasas instantáneas de asimilación de CO_2 más bajas fueron la flama china con 1 a $47 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en el CUCBA y en El Dean de 1 a $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, el ficus de 1 a $42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en el CUCBA y de 3 a $39 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en El Dean y el pirul brasileño en el CUCBA de 2 a $52 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y en el Dean de 1 a $45 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 6).

DISCUSIÓN

Las especies en estudio presentaron una amplia variación en la capacidad de captura de carbono. La captura de carbono a través de la fotosíntesis es afectada por diferentes factores ambientales, entre los que destacan: la concentración atmosférica de CO₂, irradiación temperatura, agua, contenido de clorofila, suministro de nutrimentos particularmente nitrógeno, resistencia a la difusión de gases en la epidermis, edad de la planta, composición genética de la planta entre otros (Salisbury y Ross, 1992; Lambers et al., 1998; Pimienta, 2003). Un aspecto relevante que hay que destacar es el hecho de que la mayoría de las especies arbóreas en estudio y que son muy comunes en la vegetación urbana de la Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) son introducidas y provienen de climas tropicales y subtropicales, pocas son nativas, e.g. *Tabebuia rosea* (rosamorada), *Fraxinus udhei* (fresno) y *Ehretia tinifolia*, (san José de la montaña) (Standley, 1924, Chávez, 2006).

Este estudio fue realizado en dos ambientes, que difieren en el grado de contaminación, ya que uno de ellos se localiza en Miravalle (El Dean) que es uno de los sitios con mayor grado de contaminación en la AMG (SEMADES, 2008) y el otro en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas (CUCBA) que se localiza en un ambiente rural con bajo grado de contaminación del aire. Al comparar los valores promedio de dióxido de carbono (CO₂) en el aire encontramos que en El Dean el contenido de CO₂ fue más alto (404 ppm) que en el CUCBA (385 ppm). La mayoría de las especies arbóreas usan la ruta fotosintética C₃ para capturar carbono del aire y regularmente responden al incremento de CO₂ en el ambiente debido a que aumentan la fotosíntesis neta y reducen la transpiración (Brown, 1991; Long, 2004). La fotosíntesis de árboles pequeños es generalmente incrementada durante una exposición en un periodo corto (6-9 días) en una atmósfera con CO₂ elevado, pero respuestas fotosintéticas de periodos largos son muy a menudo más variables porque son afectadas por mecanismos de retroalimentación morfológica, bioquímica y fisiológica que regulan la asimilación de carbono para encontrar la demanda (Li et al 1999; Tissue et. al, 1999; Ward y Strain 1999), sin embargo, en este estudio no se observó respuesta fotosintética que se pueda atribuir a las diferencias en el contenido de CO₂ entre ambos ambientes, ya que en la

mayoría de las especies en estudio no se observaron diferencias en la capacidad de captura carbono cuando crecen en ambos ambientes, sin embargo, si se presentaron diferencias notables en las tasas de asimilación entre las especies evaluadas, ya que en Malvavisco fueron registrados valores de captura de carbono cercanos a los $7 \text{ Kg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ y en el pirul brasileño (*Schinus terebinthifolius*) fue inferior a $3 \text{ Kg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, lo cual nos sugiere que las diferencias observadas son más de tipo genético (Salisbury y Ross, 1992) y solamente en el caso de la orquídea primavera (*Bahuinia variegata*) se puede atribuir a la contaminación, como ha sido reportado en otras especies arbóreas en ambientes urbanos con alto grado de contaminación (Grattani, 2000; Wen, 2004)

Por otro lado, diferencias en el metabolismo de carbohidratos entre las especies estudiadas puede ser una de las explicaciones a las diferencias fotosintéticas observadas entre las especies en estudio (Li et. al 1999). Además, hay que tomar en cuenta la observación de Arp en: Long, 2004, en la que encontró que el volumen radical puede afectar la respuesta de las plantas en particular al incremento en CO_2 ya que al crecer las plantas en macetas se restringe la respuesta de las plantas al CO_2 elevado. (Tissue, 1999; Long, 2004). Por otro lado algunas observaciones han mostrado que la contaminación atmosférica aumenta la fotosíntesis (Tissue, 1999; Li, 1999; Grattani, 2000; Takagi, 2004), lo cual no fue observado en este trabajo.

La mayoría de las especies evaluadas presentaron tasas instantáneas de asimilación de CO_2 más altas que la reportadas en la mayoría de las especies forestales que crecen en climas tropicales reportadas por diferentes autores en la obra Mulkey *et al.* (1996). Destacan Malvavisco (*Hibiscus mutabilis*) con 31 en el CUCBA y $32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en El Dean; orquídea primavera $31 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el CUCBA y $29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en El Dean; galeana (*Spathodea campanulata*) $24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el CUCBA y $18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en El Dean; $23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en ambos sitios, y la rosa morada $24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el CUCBA y $21 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en El Dean.

Es probable que las altas tasas fotosintéticas observadas en este trabajo se atribuyan al hecho de que estas especies sean de sucesión temprana e intermedia en sus hábitats naturales, pues hay evidencia que especies de sucesión temprana y algunas especies de sucesión intermedia se aclimatan a sitios abiertos incrementando su capacidad fotosintética (Marenco, 2001). En ficus y trueno verde también se observaron

tasas bajas de fotosíntesis ($13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en ambas). Estas tasas bajas permiten sugerir que estas sean especies tardías dentro de la sucesión, ya que comparadas a las especies pioneras, las especies de sucesión tardía presentan un rango comparativamente angosto de respuestas fotosintéticas cuando crecen en diferentes niveles de luz (Mulkey, 1996; Bazzaz, 1979 citado por Marengo, 2001). Regularmente las plantas adaptadas a la luz plena en campo abierto tienen una mejor capacidad de manejar la variación de la irradiación y la temperatura que las especies de sucesión tardía (Bazzaz and Carlson 1982; Marengo, 2001), además las especies perennifolias como ficus (*Ficus benjamina*), trueno verde (*Ligustrum lucidum*) y pirul brasileño tienden a tener tasas instantáneas más bajas que las especies caducifolias (Salisbury y Ross, 1992). El fresno presentó un nivel intermedio de fotosíntesis ($13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) entre las 11 especies en estudio siendo una especie de clima templado pero nativa.

Aparentemente el mayor grado de contaminación del aire que ocurre en El Dean es la explicación del porque en el CUCBA las especies arbóreas evaluadas presentaron mayor asimilación de CO_2 ó captura de carbono que en El Dean, no obstante de que el contenido de humedad en el suelo fue mayor en El Dean, y tuvieron condiciones similares de irradiación, temperatura y humedad relativa del aire.

Cabe resaltar el hecho de que las tasas más bajas de asimilación de CO_2 fue observado en el pirul brasileño ($11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); ya que se ha reportado que esta especie tiene baja capacidad de adaptación a otros hábitat que difieren del sitio de su origen (Bailey, 1924), sin embargo está clasificada dentro de las 100 especies exóticas más dañinas del mundo (Lowe, 2004). Estos valores bajos de asimilación en el pirul brasileño coinciden con los reportados recientemente por (Nogueira, 2004) en plantas también jóvenes (3-4 años de edad). Además resultados y estudios que todavía no han sido publicados, realizados con *Ceiba pentandra* coinciden con los resultados obtenidos por Zots, 1994.

Llama la atención que en la majagua (*Tilipariti tiliacium* var. *Pernambucense*), especie que regularmente habita en las costas tropicales se registraron tasas más altas de asimilación de CO_2 ($23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), que los reportados por Gonasageran (2001; $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Sin embargo, ésta observación fue realizada en condiciones de salinidad y estrés ambiental (Youssef, 2007). Por lo tanto es de esperarse que en este experimento

al no estar sometido a estrés, esta especie presente mayor capacidad fotosintética, ya que el suministro de agua estuvo en el rango óptimo para el desarrollo vegetal.

Las tasas más altas de ganancia de carbono en ambas localidades fueron registradas en los meses en que ocurre el periodo de lluvias. Sin embargo, la asimilación de CO₂ fue más alta en el CUCBA que en El Dean, mientras que en marzo y abril durante el periodo seco del año la asimilación de todas las especies fue la más baja.

Las tasas instantáneas máximas de asimilación de CO₂ en la mayoría de las especies, fueron más altas que los reportados en otras especies arbóreas ya estudiadas, de clima tropical y templado (Kozłowski, *et al.*, 1991; Salisbury y Ross, 1992; Zots, 1994; Mulkey *et al.*, 1996). Estas diferencias pueden ser debidas al hecho de que regularmente los árboles jóvenes tienden a tener tasas instantáneas de asimilación de CO₂ más altas que los árboles maduros y además, estuvieron en condiciones óptimas de manejo comunes en un vivero con buen manejo (riego permanente, fertilización) y en condiciones favorables de temperatura. Las tasas instantáneas de máxima asimilación de CO₂ y de captura anual de carbono fueron más altas en el CUCBA y fueron registradas en las intensidades de luz superiores a los (1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); aunque en especies como malvavisco estos valores fueron observados en tasas entre 500-1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; la rosa morada entre 1000 y 2100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y el trueno verde de 500 a 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Llama la atención que el malvavisco a pesar de tener altas tasas instantáneas de asimilación de CO₂ en niveles bajos y alto de luminosidad en el CUCBA, no presentó una caída en las tasas instantáneas de asimilación de CO₂ conforme aumenta la intensidad luminosa como fue registrado en la mayoría de las especies evaluadas.

Comparadas a las especies pioneras, las de sucesión tardía presentan un rango comparativamente angosto de respuestas fotosintéticas cuando crecen en diferentes niveles de luz (Mulkey *et al.*, 1996). Por ejemplo ficus a pesar de no tener una alta asimilación de CO₂, es una especie que presentó sus tasas instantáneas de asimilación de CO₂ de manera constante y uniformes durante el día bajo diferentes intensidades luminosas. Aunque las tasas de asimilación de CO₂ no son altas, las ganancias de carbono son apreciables por ser una especie perennifolia y presentar alta área foliar; y además, presenta alto contenido de clorofila, lo que favorece un uso eficiente de la irradiación (Lance y Guy, 1992). También ficus tiene la habilidad de ajustar

fotosintéticamente niveles de pigmentos en respuesta a diferentes niveles de irradiación, ya que puede modificar las funciones fotosintéticas y respiratorias, para modular el punto de compensación de la luz del dosel. Aunque, esta especie puede crecer bajo un rango amplio extremo de niveles de irradiación, las plantas jóvenes en su hábitat natural comúnmente comienzan su vida en un ambiente de sotobosque (bajo el dosel) y se expone a mayor intensidad luminosa cuando alcanza su madurez (Lance y Guy, 1992). Por lo tanto especies como ficus presentan mayor plasticidad fotosintética a las variaciones en la intensidad luminosa (Lance y Guy, 1992), y por este motivo presentan tasas más altas de asimilación de CO₂ en las primeras horas de la mañana y al final de la tarde, así como en los períodos que reciben poca luz por la presencia de nubes o de sombra por el dosel de los árboles (Pimienta, 2003). Esta misma plasticidad fotosintética aparentemente también ocurre en el trueno verde y el pirul brasileño, debido a que presentaron las tasas más altas de asimilación de CO₂ en las primeras horas de la mañana, al final de la tarde y principalmente cuando había nubes. Sin embargo, en el futuro, ficus probablemente pueda ser afectado por el calentamiento global, debido a que su actividad fisiológica es afectada cuando se expone a niveles altos de CO₂ atmosférico (Saxe, 1986). Sin embargo, a pesar de que en este estudio la fotosíntesis del ficus no fue afectada en El Dean, el crecimiento sí lo fue ya que la tasa de crecimiento fue más alta en El Dean (0.05 cm.día) que en el CUCBA (0.02 cm.día).

La mayoría de las especies presentaron tasas de crecimiento por día más altas en el CUCBA que en El Dean. En el CUCBA las tasas más altas de crecimiento por día fueron registradas, en galeana (0.18 cm.día), malvavisco (0.15 cm.día) y rosa morada (0.12 cm.día). Sin embargo, estas tasas son inferiores a las registradas en otras especies como *Pinus taeda* (0.61 cm.día), pino de tierra pantanosa (0.42 cm.día) y *Pinus echinata* (0.43 cm.día⁻¹) (Salisbury y Ross, 1992; Kozlowski, 1991), y similar a la registrada en el Guanacaste o parota (*Entherolobium cyclocarpum*) con 0.19 cm.día; especie tropical que es catalogada como de crecimiento rápido tropical y que es nativa de México (Di Stefano y Fournier, 1999) así como al roble rojo oriental (0.15 cm.día) y pino rojo (0.12 cm.día) (Salisbury y Ross, 1992; Kozlowski, 1991). En el Dean las tasas más altas de crecimiento fueron registradas en la galeana (0.08 cm.día), malvavisco (0.06 cm.día) y la rosa morada (0.09 cm.día). En el caso de algunas especies como el

ficus y san José de la montaña las tasas de crecimiento fueron muy cercanas en El Dean (0.04 cm.día) y en el CUCBA (0.03 cm.día) CUCBA, en cambio en orquídea primavera varían considerablemente (0.09 en El Dean y 0.02 cm.día en el CUCBA), tendencia similar se observó en el pirul brasileño.

Las especies que crecen en ambientes con baja disponibilidad de nutrientes regularmente son de crecimiento lento y presentan baja plasticidad fisiológica en respuesta al ambiente, en comparación con las especies que han evolucionado en ambientes más fértiles. (Grime and Hunt, 1975; Brown, 1986; Lambers, Chapin III y Pons, 1998). Incluso en ambientes con baja disponibilidad de recursos conservan su crecimiento rápido (Lamber, Chapin III and Pons, 1998). Probablemente el fresno que tuvo la tasa más baja de crecimiento por día en el CUCBA y El Dean (0.006 cm.día y 0.008 cm.día) respectivamente se originó en un hábitat con baja disponibilidad de recursos edáficos, e incluso con baja disponibilidad de luz, causado por la sombra (Grime and Hunt, 1975).

Las especies con los valores más altos de captura de carbono o asimilación de CO_2 fueron galeana ($4.7 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$), rosa morada ($4.7 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) y malvavisco ($6.6 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) y estas mostraron las tasas más altas de crecimiento. Aunque esto no ocurre, en algunas especies como es el caso de la orquídea primavera (36.17% menos en El Dean que en el CUCBA) tuvo un crecimiento 4 veces más alto en El Dean. Esta diferencia debió ser causada por la gran cantidad de plaga que esta especie presentaba en El Dean y no en el CUCBA, causado a su vez por la sensibilidad y debilitamiento de la contaminación. Tendencia similar se observó en la majagua. Especies con la misma tasa fotosintética pueden modificar sus tasas de crecimiento si son cambiadas de localidad (Bazzaz, 1996). Además, especies de árboles con crecimiento lento, usan más su carbono para la respiración, especialmente en sus raíces, mientras que las especies de crecimiento rápido invierten una gran proporción del carbono asimilado en crecimiento nuevo, especialmente crecimiento de hojas (Lamber, Chapin III and Pons, 1998).

Existen referencias de que la galeana es una especie de rápido crecimiento y que las plántulas son muy competitivas. sin embargo el crecimiento parece ser lento hasta que las plántulas desarrollan unas pocas hojas, después de lo cual el crecimiento se ve

acelerado (John, 1990). En este experimento las plantas de galeana (con dos a tres años de edad) mostraron un mayor crecimiento que el resto de las especies evaluadas. Es ampliamente conocido que la galeana es intolerante a la sombra y requiere de luz solar plena para su rápido crecimiento. Las observaciones realizadas mostraron que fue una de las especies con los valores más altos de asimilación de CO₂ entre las once especies estudiadas y además mostró una asimilación de CO₂ alta y constante, con niveles de luz debajo de los 500 $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ los que se mantuvieron hasta los 2000 $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$, a diferencia de las demás especies que mostraron resultados bajos de asimilación de CO₂ con altos niveles de luz. Además, esta especie fue la que mostró ser más tolerante a la sequía ya que en sus hojas fue registrado el potencial hídrico más alto. La galeana crece de manera natural en África en bosques secundarios en la zona de bosque alto y en los bosques de sabana caducifolios y en transición. Por todas las características anteriores que lo favorecen, en áreas perturbadas unos pocos de los individuos más avanzados y agresivos rápidamente alcanzan una posición dominante para permanecer encima de competidores potenciales de por vida (John, 1990). También, debido a su reproducción agresiva, la galeana, se convierte con frecuencia en una plaga en pastizales, en siembras con plantas perennes y en lotes baldíos urbanos, además se ha encontrado como especie invasora en otros países (John, 1990; Chacón y Saborío, 2006). Avanzan rápidamente al estrato superior en rodales de baja densidad y en claros. En Uganda, es de los primeros árboles en colonizar los pastizales. En la región de Benue de Nigeria, luchan por sobrevivir como oportunistas en los claros y entre árboles altos, y crece como un dominante ocasional en los extensos rodales de *Euphorbia darwei* N.B.Br. en el Congo y Uganda. Los brinzales y los árboles en etapa de poste pueden sobrevivir por varios años bajo el dosel de bosques secundarios en etapa temprana. Sin embargo, la especie rara vez domina o ocupa un sitio por más de una generación (John, 1990).

Las especies forestales perennifolias tienen una gran capacidad de almacenar tanto nutrientes como carbohidratos, lo que reduce el potencial para su crecimiento en la etapa vegetativa temprana. Este almacenamiento ocurre en plantas leñosas, especialmente en raíces estructurales, madera y tejido de madera a los árboles, lo que constituye el 25 a 30% del total de proteínas extraíbles, (Lamber, Chapin III and Pons, 1998), este almacenamiento pudo haber ocurrido en las especies perennifolias trueno

verde, majagua, pirul brasileño, san José de la montaña, ficus y fresno. sin embargo una vez que el almacenamiento de recursos ha sido alcanzado, esto permite que estas plantas empiecen a crecer temprano en un clima estacional (Lamber, Chapin III and Pons, 1998). como en el caso del pirul brasileño y del san José ya que pudieron haber invertido este tipo de almacenamiento, el pirul brasileño teniendo la captura de carbono más baja en ambas localidades, $2.3 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en el CUCBA y en $2.5 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ El Dean (Fig. 2), mostró una alta producción de flores y frutos, además de que tuvo un crecimiento alto (0.0802 cm.día) en El Dean comparado a las demás especies perennifolias (con excepción de la Galeana).

San jose de la montaña, es una especie que crece en seiva alta perennifolia, clima en la cual la falta de agua ni la de calor son factores limitantes del desarrollo de las plantas a lo largo del año, pues tiene una precipitación continua de 9-12 meses (Rzedowski, 1978). Por su hábitat crece entre los 0 y 1000 m.s.n.m y no más de 1500 m.s.n.m, y con una precipitación de 1000-3000 mm (Rzedowski, 1978). Debido al ambiente en que ha evolucionado san josé es una especie que depende de un ambiente húmedo (Rzedowski, 1978), además por el lugar en el que habita la especie debió adaptarse a tasas fotosintéticas instantáneas tan variadas como las que mostró en los resultados de nuestro estudio, ya que responde tanto a niveles altos y bajos de luz. San josé de la montaña, aunque, no fue la especie con la captura de carbono más alta entre las once especies ($3.5 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en el CUCBA y $3.7 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en El Dean). su captura de carbono fue más alta que otras especies exóticas perennifolias como el pirul brasileño, el trueno verde y ficus. Rosa morada a pesar de que crece en México en el mismo tipo de vegetación que el san josé de la montaña, es una especie que le gustan los terrenos inundados, se puede encontrar como miembro del estrato arbóreo superior en algunas regiones y en asociación con árboles dominantes, sin embargo a diferencia del san josé de la montaña su distribución es ininterrumpida desde Sudamérica hasta México en donde se encuentra en vegetación secundaria y lugares perturbados, suele crecer en comunidades secundarias en Jalisco que son comunidades que derivaron del bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1978). El tener un crecimiento rápido (0.12 cm.día), una asimilación alta de CO_2 ($24 \mu\text{mol m}^{-1} \text{ s}^{-1}$), una buena eficiencia en el uso de agua y su amplia variación en las tasas instantáneas de

asimilación de CO₂ tanto a niveles bajos como altos de luz, son características que deben favorecer su desarrollo al igual que en el caso de la galeana, en los bosques secundarios, ya que estos tienden a tener más variabilidad en la respuesta a factores abióticos (e.g. temperatura, agua y luz) que en hábitats de sucesión tardía, por ejemplo (Marengo, 2001).

El fresno es una especie que habita en bosques de galería, mixtos de pino-encino y de mesófilo de montaña, por lo que crece naturalmente en lugares templados y húmedos, y en altitudes que oscilan de 2250 a 2800 m.s.n.m. (Calderón y Rzedowski, 2001). A diferencia de la Área Metropolitana de Guadalajara que tiene una altitud de 1560 m.s.n.m. y el clima es subtropical y la humedad relativa es menor, por lo que aparentemente no tiene condiciones climáticas favorables para el desarrollo del fresno. Estas diferencias climáticas probablemente es la explicación del porque esta especie presenta tasas bajas de crecimiento, bajos potenciales hídricos y tasas de asimilación de CO₂.

La flama china (*Koelreuteria paniculata*) además de ser una especie exótica, resultó ser dentro de las especies caducifolias la que presentó valores bajos de asimilación CO₂ de y el potencial hídrico más bajo de todas las especies estudiadas. Además, es una especie de corta longevidad (Sánchez, 2001).

El contenido de clorofila es un buen indicador fisiológico del grado de estrés de las plantas, ya que tiende a reducirse drásticamente cuando la planta es afectada por estreses del ambiente. (Wen, 2004). Se ha encontrado que el que el contenido foliar de este pigmento se reduce en especies vegetales afectadas por la contaminación del aire (Su et al. 2002 y Wen, 2004), los resultados de este estudio no mostraron diferencias estadísticas en las especies evaluadas entre el CUCBA y El Dean, lo cual nos permite sugerir que la contaminación no causó estrés fisiológico en las especies arbóreas evaluadas.

Aunque ninguna de las especies arbóreas tuvo realmente potenciales hídricos bajos pues todas fueron regadas dos veces por semana a capacidad de campo, las observaciones mostraron cuales fueron las especies con mayor tolerancia a la sequía, es decir las que presentaron potenciales hídricos más altos, como fue el caso de la orquídea primavera (-1.6 MPa), malvavisco (-1.73 MPa), rosa morada (-2.4 MPa) y galeana (-2.5

MPa). Estos valores son similares a los encontrados en especies forestales adultos de rosa morada (López, 2001, Raschi, 2003). López (2001) encontró que esta especie consume menos agua que otras especies estudiadas ya que esta requiere una menor cantidad de agua para producir 1 g de biomasa ($0.0052 \text{ mmol CO}_2 / (\text{H}_2\text{O mmol})$). Nogueira (2004) menciona que el pirul brasileño es una especie con alta eficiencia en el uso del agua y en nuestro estudio fue la especie con menor tolerancia a la sequía, ya que presentó el menor potencial hídrico (-4.8 en el CUCBA y -4.4 MPa en El Dean).

En la fenofase reproductiva se observó que dos de las tres especies (pirul brasileño y malvavisco) que formaron flores, no florecieron al mismo tiempo en ambas localidades de estudio. Estas se atrasaron por un mes en El Dean. El pirul comenzó a formar flores en el CUCBA en mayo y en El Dean en junio; el malvavisco comenzó a formar flores en julio y en el Dean en agosto. En el caso del san José de la montaña fue diferente pues solamente en abril floreció en el CUCBA y tan solo en dos árboles ocurrió este evento fenológico, en contraste con El Dean los árboles comenzaron a formar flores en marzo y no dejaron de florecer hasta agosto que fue el último mes que se midió.

CONCLUSIONES

Entre las especies evaluadas rosa morada, especie nativa caducifolia es una de las especies que presentó respuesta ecofisiológica favorable para forestar el AMG. Aunque el fresno se encuentra ampliamente distribuido en el AMG no se encuentra en condiciones climáticas favorables para expresar su potencial como especie arbórea ya que el clima de el AMG es más cálido que en los ambientes templados en que se originó y evolucionó esta especie. Por otro lado san josé de la montaña, especie nativa fue la mejor especie perennifolia después de la galeana en capturar carbono en comparación con otras especies introducidas como el trueno verde, pirul brasileño y ficus. Con excepción de ficus, san josé es un árbol que logra mayor altura, por lo que tiene mayor capacidad de almacenamiento. Ficus por su gran área foliar cuando es adulto capturará más carbono. Trueno verde, especie perennifolia, obtuvo una baja captura de carbono, pero puede ser utilizada en banquetas. Tampoco se recomienda el pirul brasileño, pues está clasificada dentro de las 100 especies exóticas más dañinas del mundo. Orquídea primavera fue más sensible a la contaminación por lo que no se recomienda utilizarla en lugares contaminados.

La galeana es la mejor especie exótica perennifolia que se puede utilizar para reforestar el AMG sin embargo al igual que todas las demás especies exóticas, sólo se recomienda que se utilice en áreas urbanas y no en carreteras ni para reforestar bosques, pues es una especie con reproducción agresiva y se ha encontrado como especie invasora en otros países. Esta especie se puede utilizar en otras ciudades con climas tropicales con un alto grado o también bajo de contaminación. La majagua, especie exótica perennifolia, también se recomienda utilizar para forestar por su alta capacidad de captura de carbono. sin embargo se recomienda utilizarlo para parques o en lugares más amplios y no en banquetas, pues los árboles adultos de esta especie tienen un sistema lateral de raíces muy agresivo con abundantes raíces finas. El malvavisco, siendo la mejor especie para capturar carbono dentro de las once especies, se puede concluir que no es la mejor especie para utilizarla como reserva de carbono, pues a pesar de que su crecimiento es rápido su tamaño que alcanza en la madurez no garantiza una alta capacidad de captura de carbono. Sin embargo, se puede utilizar en espacios como

banquetas, en donde otros árboles no pueden ser utilizados. Además tiene flores de gran belleza que abren en la mañana de color blanco y van tornándose rosas durante el día.

La flama china además de ser una especie exótica, resultó ser dentro de las especies caducifolias la más baja en capturar carbono. Además de la gran belleza de sus flores que se presenta de julio a agosto, no es la especie más recomendada para capturar carbono, pues además es una especie de baja longevidad (100-120 años).

En conclusión de acuerdo a las diferentes respuestas ecofisiológicas, se recomienda utilizar para forestar el AMG y otras zonas urbanas, la rosa morada, san José de la montaña, el fresno en climas templados, la galeana y la majagua antes que todas las demás especies estudiadas.

RECOMENDACIONES

En los últimos años los investigadores han trabajado para hacer modelos que cuantifiquen el rol de las especies arbóreas urbanas para eliminar el CO₂ y contaminantes de la atmósfera. Para esto es necesario conocer el origen, distribución geográfica, aspectos ecofisiológicos, edad, composición, estructura y salud de las especies. Así, se podrá hacer una adecuada planeación, diseño y manejo de las especies para incrementar los beneficios de los árboles en las áreas urbanas densamente pobladas. Por lo tanto, es importante seguir identificando especies de plantas en grupos de sensitivas y tolerantes a la contaminación porque servirán como indicadores y bioacumuladores de contaminantes en áreas urbanas e industriales, para implementar modelos de respuesta de ecosistemas urbanos, para mitigar muchos de los impactos ambientales del desarrollo urbano, mejorar el balance del calentamiento de las ciudades y para contribuir a reducir el impacto del calentamiento global.

LITERATURA CITADA

Arnalds A. 2004. Carbon sequestration and the restoration of Health, An example from Iceland. *Climatic Change*. 65:333-346.

Bazzaz F.A. 1996. *Plants in Changing Environments*. United Kingdom. Cambridge University Press. 320 pp.

Bell J.N.B. and F.M. Marshall. 1999. Field studies on impacts of air pollution on agricultural crops. In: Agrawal SB, Agrawal M (eds). *Environmental pollution and plant responses*. United States of America: CRC Press. Miami, Fla, pp: 99-110.

Bailey L.H. 1924. *Manual of Cultivated Plants. Most commonly grown in the continental United States and Canada*. United States of America. Mac Millan. Publishing, Co, pp: 1116.

Bettencourt L.M.A., J.Lobo, D. Helbing, C. Kühnert y G.B. West 2007. Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities *Sustainability Sciences* 104: 7301-7306.

Brown K. and K.O. Higginbotham 1986. Effects of carbon dioxide enrichment and nitrogen supply on growth of boreal tree seedlings. *Tree Physiology*. 2: 223-232.

Brown K.R. 1991. Carbon dioxide enrichment accelerates the decline in nutrient status and relative growth rate of *Populus tremuloides* Michx. seedlings. *Tree Physiology*. 8:161-173.

Bruinsma J. 1961. A comment of spectrophotometric determination of chlorophyll. *Biochemica et Biophysica Acta*. 52:579-582.

Calderón R.G y Rzedowski J. 2001. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. México. 2a. ed. Instituto de Ecología, A.C. Y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, pp: 1406.

Castañeros, C. M. 1994. Arborización para carreteras y zonas urbanas. México, D.F. SCT. Caminos y Puentes federales, pp: 436.

Chacón E. M. y G. R. Saborío. 2006. Análisis de las plantas introducidas invasoras en Costa Rica. Asociación para la Conservación y el Estudio de la Biodiversidad (ACEBIO). *invasives.iabin.net/documents/PlantasInvasoras-CostaRica2006.doc*

Chacón EM. y G.R. Saborío. 2006. Análisis taxonómico de las especies de plantas introducidas en costa rica. *Lankesteriana* 6(3): 139-147.

Chávez J.M. 2006. Descripción y comportamiento microclimático de especies arbóreas del Área Metropolitana de Guadalajara. México. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias y Departamento de producción forestal, Universidad de Guadalajara. Fla, pp: 97.

Di Stefano J.F. y A. L. Fournier.1999. Crecimiento de la parte aérea y radicular de plantulas de *Enterolobium cyclocarpum* (Guanacaste), Ciudad Colón, Costarica. *Agronomía Costarricense*. 23(1): 77-87.

Fryxell PA. 1988. Systematic Botany Monographs, volume 25, "Malvaceae of Mexico". pp: 522.

Gonasageran N., A.V. Tuffers, D.J. Von Willert. Changes in gas exchange and chlorophyll fluorescence characteristics of two mangroves and a mangrove associate in response to salinity in the natural environment .Trees. International Symposium on Mangroves. Tokyo, Japón.16: 140-146.

González Núñez R.H. Secretario del Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable. 2007. Acuerdo. El estado de Jalisco. Periódico oficial. 23 de Enero. No.14. Sección II.

Grattani L., M.F.Crescente and M. Petruzzi. 2000. Relationship between leaf life-span and photosynthetic activity of *Quercus ilex* in polluted urban areas (Rome). *Environmental Pollution*. 110: 19-28.

Grattani L. y L.Varone. 2006. Carbon sequestration by *Quercus Ilex* L. and *Quercus pubescens* Willd. and their contribution to decreasing air temperature in Rome. *Urban Ecosystems*. 9:27-37.

Grime J.P. and R. Hunt. 1975. Relative growth-rate: Its range and adaptive significance in a local flora. *The Journal of Ecology*. 63(2):393-422.

Grimm N.B. 2008. Global change and the ecology of Cities. *Science*. 319: 756 – 760.

John H.W. 2008. Flora of Kaxil Kiuic. University of Richmond, USA.
http://oncampus.richmond.edu/academics/flora-kiuic/e/ehretia_tinifolia.html

John K. F. 1990. *Spathodea campanulata* Beauv. African tulip tree. SO-ITF-SM-32. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, pp: 5. <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Spathodeacampanulata.pdf>

Kozlowski T.T., P.J. Kramer and S.G. Pallardy. 1991. *The Physiological Ecology of Woody Plants*. Academic press, INC. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. New York, pp: 657.

Klumpp A., M. Domingos and M.L. Pignata. 1999. Air Pollution and vegetation damage in South America- state of knowledge and perspectives. In: Agrawal SB, Agrawal M, eds. *Environmental pollution and plant responses*. United States of America: CRC Press LLC, pp:111- 136.

Lance C. J and C. L. Guy. 1992. Changes in pigment levels, Rubisco and respiratory enzyme activity of *Ficus benjamina* during acclimation to low irradiance. *Physiologia Plantarum*. 86 (4), pp: 630 – 638.

Lambers H., F.S. Chapin y T. L. Pons. 1998. *Plant Physiological Ecology*. Springer. New York. pp: 540.

Long S. P. 2004. Rising atmospheric carbon dioxide: Plants FACE the future. *Annual Rev. Plant Biol.* 55:591-628.

LI J.H., P. Dijkstra, C. R. Hinkle, R. M. Wheeler and B. G. Drake. 1999. Photosynthetic acclimation to elevated atmospheric CO₂ concentration in the Florida scrub-oak species *Quercus geminata* and *Quercus myrtifolia* growing in their native environment. *Tree Physiology* 19, 229-234.

López J.C., N.M. Riaño y Y.F. López. 2001. Características fotosintéticas de cinco especies forestales. Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales Valdivia-Chile.

López VR. 2003. Árboles para reforestar la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. México. Editorial Conexión Gráfica S.A. de C.V. 86 p.

López L.A. y J.M. Sánchez. 2001. Árboles en España. Manual de Identificación. Mundiprensa Madrid, 2ª edición. España, pp: 654.

http://books.google.com.mx/books?id=KCcb7h7IvpAC&pg=PA325&lpg=PA325&dq=alura+bahuinia+variegata&source=web&ots=qe3DIw8mRU&sig=z9S0x7cwRGNFIGDNKE0cjkh-SfM&hl=es&sa=X&oi=book_result&resnum=1&ct=result#PPA646.M1

Lowe S., S.Boudjelas, M. De Poorter. 2004. *100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database*. Grupo

Especialista de Especies Invasoras (GEEI), Comisión de Supervivencia de Especies (CSE) de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). <http://www.issg.org/spanish.pdf>

Luo Y., D.A. Sims, R.B. Thomas, D.T. Tissue and J.T. Ball. 1996. Sensivity of leaf photosynthesis to CO₂ concentration is an invariant function for C₃ plants: test with experimental data and global applications. *Global Biogeochem. Cycles* 10:209-222.

Marengo R.A. 2001. Leaf gas exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional status in two light environments in central Amazonia. *Tree Physiology*. 21: 1311–1318.

McMichel A.J. 2000. La salud pública y el entorno urbano en un mundo cada vez más globalizado: problemas para los países en desarrollo. *Bulletin of the World health organization*. 78: 1117-1126.

McVaugh Rogers. 2001. *Flora Novo-Galiciana. A descriptive account of the vascular plants of western Mexico*. United States of America. The university of Michigan herbarium ann arbor, pp: 751.

Mulkey S.S., R.L. Chazdon, P.A. Smith. 1996. *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. United States of America. Chapman and Hall, pp: 675.

Nogueira A. C.A. Martinez, L.L. Ferreira and C.H.B. Prado. 2004. Photosynthesis and water use efficiency in twenty tropical tree species of differing succession status in a Brazilian reforestation. *Photosynthetica*. 42 (3): 351-356.

Nowak D.J. 2000. Impact of urban forest management on air pollution and greenhouse gases. En: *Proceedings of the Society of American Foresters 1999 national convention*; 1999 September 11-15; Portland, OR. SAF Publ. 00-1. Bethesda, MD: Society of American Foresters: 143-148.

Nowak D.J. 2000. Tree species selection, design, and management to improve air quality. *In*: Scheu, Diane L. (ed.) ASLA Annual Meeting Proceedings; 2000; St. Louis, MO. Washington, DC: American Society of Landscape Architects: 23-27.

Nowak, D.J. and J.F. Dwyer. 2007. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. *In*: Kuser, J.E. (ed.) Urban and community forestry in the Northeast, Springer 2nd ed. New York, NY: 25-46.

Pennington D.T. y J. Sarukhán 2005. Árboles Ttropicales de México. Manual Para la identificación de las principales especies. México. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica, pp: 523.

Pimienta E.B. 2003. Ecofisiología de la fotosíntesis. Temas selectos en ecología y fisiología vegetal. Centro universitario de ciencias biológicas y agropecuarias. Universidad de Guadalajara, pp: 164.

Pimienta E.B. and B.C. Ramírez. 2003. Phenology, growth, and response to light of ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L. Anacardiaceae). Economic Botany: 57(4): 481-490.

Raschi A., G.M. Lanini, F. Ugolini, L.Sanità di Toppi, L. Bacci, M. Morabito, R. Tognetti, F. Bussotti. 2003. Ecophysiology of evergreen trees in the urban area of Florence. Proc. of Fifth International Conference on Urban Climate.

Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. México. Limusa Editorial. pp: 432.

Rowntree R.A. 1990. Urban forestry, carbon dioxide and global climate change. *En*: Forestry on the Frontier: Proceedings of the 1989 Society of American Foresters National Convention, September 24-27, 1989, Spokane, Washington. Bethesda, MD: Society of American Foresters: 429-433.

Salisbury F. and C.W. Ross. 1992 . Plant Physiology. 4th ed. Wadsworth, Belmont, CA. pp: 422.

Sánchez M. 2001. *Koelreuteria paniculata*. Jabonero de la China. Ficha del árbol. http://www.rjb.csic.es/pdfs/MSG/Koelreuteria_paniculata.pdf

Saxe H. 1986. Effects of NO, NO₂ and CO₂ on net photosynthesis, dark respiration and transpiration of pot plants. *New Phytol.* 103:185-197.

Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, Gobierno de Jalisco Poder Ejecutivo. 2008. Informe de Calidad del aire. Reporte del periodo enero-marzo, 2008.

Su X., D.Q. Hu, Z.F. Lin, C.L. Peng. 2002. Effect of air pollution and the chlorophyll fluorescence characters of two afforestation plants in Guangzhou. *Acta Phytoecologica Sinica.* 26: 599-604.

Standley P.C. 1924. Trees and shrubs of Mexico. Contributions from the United States National Herbarium. United States of America. SMITHSONIAN INSTITUTION UNITED STATES NATIONAL MUSEUM. Vol.23 (4): 849-1312.

Takagi M. and K. Gyokusen. 2004. Light and atmospheric pollution affect photosynthesis of street trees in urban environments, *Urban Forestry & Urban Greening.* Vol.2 (3), pp. 167-171.

Tissue DT, K. L.Griffin, and t. Ball. 1999. Photosynthetic adjustment in field-grown ponderosa pine trees alter six years of exposure to elevated CO₂. *Tree Physiology.* 19:221-228.

Torres ER. 1984. Manual de Conservación de Suelos Agrícolas. Editorial Diana, México D.F., 180 p.

Ward JK and B.R. Strain BR. 1999. Elevated CO₂ studies: past, present and future. *Tree Physiology*. 19, 211-220

Wen D., Y. Kuang and G. Zhou. 2004. Sensitivity analyses of woody species exposed to air pollution based on ecophysiological Measurements. *Environ Science & Pollution Research*. 11 (3): 165-170.

Yang J. J. McBride, J. Zhou and Z. Sun. 2005. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry and Urban Greening* 3 (2): 65-78.

Youssef T. 2007. Stomatal, biochemical and morphological factors limiting photosynthetic gas exchange in the mangrove associate *Hibiscus tiliaceus* under saline and arid environment. *Aquatic Botany*. 87:292-298.

Zotz G. and K. Winter. 1994. Photosynthesis of a tropical canopy tree, *Ceiba pentandra*, in a lowland forest in Panama. *Trees Phisiology*. 14:1291-1301.

Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 25 Nov 2008 en la red <<http://www.tropicos.org>>.

Gobierno del estado de Yucatán, Poder Ejecutivo.

<http://www.yucatan.gob.mx/estado/ecologia/flora/roble/roble.htm>

ANEXOS

DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS.

Nombre común: Fresno

Nombre científico: *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh

Familia: OLEACEAE

Origen: México

Árbol dioico, hasta 25 m de alto, su aspecto es piramidal en su juventud, y al madurar posee una corona abierta y redonda, de corteza rugosa y estriada, su raíz es fibrosa, extendida y profunda; tipo de follaje caducifolio, hojas de 5 a 9 folíolos, casi sésiles a finamente pedunculados. lanceolados a oblongo-lanceolados o elípticos, de 5 a 15 cm de largo, de 1.5 a 5 cm de ancho, ápice largamente atenuado, borde menudamente dentados o serrulados. base obtusa, redonda o aguda, membranosos o algo engrosados. haz glabro, envés verde claro. generalmente algo pubérulo a lo largo de la nervadura media, pero glabro en el resto: panículas de 7 a 20 cm de largo, raramente más pequeña. muy ramificadas, laxas o densas; flores con un minuto cáliz tetradentado, pétalos ausentes, las flores masculinas con 2 estambres, las femeninas con un 1 pistilo, estilo bifido; sámara de 2.5 a 4 cm de largo, con un pequeño cuerpo oscuro más o menos cilíndrico, con una ala, obtusa o algo emarginada en el ápice. "Fresno". Tepetzotlán a Xochimilco y Otumba a Tlamanalco. Altitud 2250-2800 m. Es de clima templado. no tolera heladas. Se localiza generalmente en microhabitats más bien húmedos, como cañadas y barrancas, frecuentemente en asociaciones de bosque mixto o mesófilo. Fuera del valle se le ha registrado desde Sinaloa y Durango hasta Veracruz y Chiapas. Es, asimismo, una especie extensamente cultivada en muchas partes del país. (López, 2003; Rzedowski, 2001)

Nombre común: Majagua

Nombre científico: *Tilipariti tiliacium* var. *pernambucense* (Arruda) Fryxell

Familia: MALVACEAE

Origen: Asia

Arbustos o árboles de 1-8 m de altura con un ancho de copa de 8 m de color verde oscuro, minutamente estrellado-pubescentes a glabros, follaje perenne color verde oscuro lustroso; hojas pecioladas, ampliamente ovadas, profundamente cordadas, entera o minutamente denticuladas, acuminadas, coriáceas, con una pubescencia suave en el envés, marcadamente decolorada, con 1-5 glándulas nectaríferas en la base de las venas principales de la superficie abaxial; pedicelos solitarios en las axilas de las hojas, usualmente congestionadas en los ápices de las ramas, minutamente estrellado-pubescentes; cáliz, dividido más de la mitad de su largo, con una glándula nectarífera en la vena principal de cada lóbulo; floración amarilla y púrpura durante todo el año, incrementándose en la primavera, pétalos de 4-6 cm de largo, amarillo brillante desvaneciéndose a naranja; columna estaminal ca 3 cm de largo, con estambres a lo largo de la columna; estigmas 5, capitadas; cápsulas ca 2 cm de largo; con la pubescencia dirigida hacia arriba; semillas 4 mm de largo, minutamente papiladas. Su sistema radicular es pivotante, extendido, fibroso, profundo. Es de clima cálido y se puede encontrar a una altitud de 10-1,600 m.s.n.m. Es un árbol que en su medio natural crece junto a cuerpos de agua, por lo que requiere de riego abundante.

En asociaciones de litorales y manglares, en los límites de estuarios y bocas de ríos, más ó menos por los neotrópicos; florecen principalmente de Mayo a Noviembre. En México se encuentra hacia el norte en ambas costas de Nayarit y Tamaulipas; Centro y América del Sur (López, 2003; McVaugh, 2001).

Nombre común: Flama china

Nombre científico: *Koelreuteria paniculata* Laxm.

Familia: SAPINDACEAS

Origen: Asia en China, Japón y Corea.

Árbol con copa redonda de 30 pies ó 10-15 m y hasta 20 m de altura: hojas de 14 pulgadas de largo, de 7-15 folíolos ovados a oblongo-ovados, 1-3 pulgadas de largo, burdo e irregularmente crenado y serrulado o en la base frecuentemente pinnatisecta, verde oscuro y glabro por encima, más pálido y generalmente pubescente en las venas del envés; las flores de 4 pétalos están en pedicelos, aproximadamente ½ pulgadas de

largo, en muchas panículas amplias de 18 pulgadas de largo, florece de julio a agosto: frutos cápsulas de 1 ½- 2 pulgadas de largo, con paredes con textura de papel, las valvas ovadas oblongas se van haciendo gradualmente angostas hasta un ápice puntiagudo (Bailey, 1924; Sánchez, 2001).

Nombre común: Pirul Brasileño

Nombre científico: *Schinus terebinthifolius* Raddi.

Familia: ANACARDIACEAE

Origen: Brasil

Árbol perennifolio con resina, de 20 pies de alto o más de copa extendida, las hojas compuestas generalmente de 7 folíolos sésiles oblongos, 1 ½- 3 pulgadas de largo, ¾-1 ½ pulgadas de ancho, de color verde muy oscuro en el haz, más claro en el envés; las flores blancas pequeñas, se encuentran en panículas muy densas, inconspicua, durante la primavera; los frutos son drupas globosas, pequeñas, de rojo brillante. Difiere de otros *Schinus* L. en que tiene una tolerancia muy estrecha a otros habitats. Es de clima semi-seco, templado, cálido y semi-cálido. Su raíz es típica, fibrosa y profunda. A este árbol se le encuentra de 1,400- 2,600 m.s.n.m. (Bailey, 1924) (López, 2003).

Nombre común: Malvavisco

Nombre científico: *Hibiscus mutabilis* Linnaeus.

Familia: MALVACEAE

Origen: China

Arbustos de 3m de alto, los tallos con pelos glandulares entremezclados. La mayoría de las hojas 8-17 cm de largo, casi lo mismo a lo ancho, palmadamente lobadas de 3-7, los lóbulos poco profundos y triangulares, cordados, serrados-crenulados, agudos a acuminados, minutamente por debajo, espaciadamente por arriba, algo descolorido; los peciolo usualmente subiguales en las hojas (o algo cortos). Flores solitarias en las axilas de las hojas, seguido agregadas apicalmente en pocas inflorescencias; pedicelos 4-10 cm de largo; cáliz de 2.5-3 cm de largo, mas, ni acrescentes ni inflados, y algo glandulares.

pétalos casi de 4 cm de largo, blancas cambiando a rosa, las flores a veces dobles. Capsulas casi de 2 cm de largo, ovoides, hispidas, internamente pilosas a lo largo de la sutura de dehiscencia: semillas casi de 2 mm de largo, divaricadamente hirsuto a la mitad del camino del hilo; la otra mitad glabra, los pelos de 2 mm de largo.

Hibiscus mutabilis es nativa de china y es ampliamente cultivada en regiones tropicales, subtropicales y a veces en regiones templadas; se le puede encontrar frecuentemente en jardines mexicanos pero rara vez encontradas en herbarios. Presumiblemente florece en todas las estaciones (Fryxel, 1988).

Nombre común: Trueno Verde

Nombre científico: *Ligustrum lucidum* Ait.

Familia: OLEACEAE

Origen: Japón, China, Corea.

Árbol o arbusto perennifolio de 30 pies., glabro, con copa redondeada: las hojas opuestas, enteras, ovadas a lanceoldas, coriáceas, 3-6 pies de largo, agudas o acuminadas, de forma ahusada desde la base, verde oscuro y brillante en el haz, las flores blancas en pedicelos cortos, en panículas erectas de 10 pies de largo. los frutos parecidos a drupas, generalmente como la mora azul, florece de agosto a septiembre. Este árbol es de clima templado. Su raíz es típica, fibrosa y profunda. Se encuentra de 300-2.000 m.s.n.m. (Chávez 2006, López, 2003; Castaños, 1994; Bailey, 1924)

Nombre común: Rosa Morada, palo de rosa

Nombre científico: *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.

Familia: Bignoniaceae

Origen: México

Árbol de hasta 25 m y d.a.p de hasta 70 cm, tronco derecho, con un ancho de copa de 5 m con pocas ramas gruesas y horizontales y ramificación simpódica, con la copa estratificada. Corteza fisurada y suberificada con algunas de las costillas

escamosas, pardo grisácea a amarillenta. Las ramas jóvenes a veces con sección transversal cuadrada, con abundantes cicatrices de hojas caídas, pardo grisáceas.

Hojas decusadas, digitado-compuestas, de 10 a 35 cm de largo incluyendo el peciolo; foliolos 5, los dos inferiores más pequeños y el terminal más grande, lanceolado o elípticos, con el margen entero, base cuneada, redondeada; haz verde oscuro, envés verde amarillento con abundantes escamas visibles con la lupa en ambas superficies. Los árboles de esta especie pierden las hojas de marzo a junio. Flores zigomórfas de color rosa morado en panículas cortas con las ramas cimosas, en las axilas de hojas abortivas o terminales de hasta 15 cm de largo. Los frutos son cápsulas estrechas de hasta 35 cm de largo. Tiene raíz típica profunda. Es de clima tropical. Se encuentra a una altitud de 100-1.650 m.s.n.m. (López 2003; Pennington y Sarukan, 1968).

Nombre común: San José de la montaña, roble, bec, roble prieto

Nombre científico: *Ehretia tinifolia* L. A. DC

Familia: Boraginaceae

Origen: México en Tamaulipas, Veracruz, Oaxaca, Yucatán y oeste de Antillas

Árbol o arbusto, glabro a lo largo o casi, a veces 27 metros de altura, con una copa densa, la corteza más bien liza, las hojas son lustrosas y pecioladas, oblongas a ovadas, 5 a 12 cm de largo, redondeado a agudo en el ápice, obtuso o redondeado en la base; las panículas son más largas que las hojas, densas o abiertas; la corola es blanca, aproximadamente de 4 mm de largo; frutos rojos o morados de 5 a 6 mm de diámetro. Abunda en las selvas alta perennifolia, medianas subcaducifolia y subperennifolia y en la selva baja caducifolia (Standley, 1924; John, 2008).

<http://www.yucatan.gob.mx/estado/ecologia/flora/roble/roble.htm>

Nombre común: Ficus

Nombre científico: *Ficus benjamina* L.

Familia: MORACEAE

Origen: India

Árbol perennifolio con una copa muy amplia con ramas colgantes, glabras, los árboles pequeños suelen semejar a un álamo; las hojas son pequeñas de 2-5 pulgadas de largo, brillantes y moderadamente gruesas, ovadas a ovadas-elípticas y ovadas-lanceoladas, se van haciendo abruptamente angostas hasta la punta no puntiaguda sino más bien corta, redondeado o más bien ancho en la base, con muchas nervaciones finas, margen entero, arrugado, pecíolo 1 pulgada o menos de largo, el fruto es un sicono se encuentra en pares sésiles axilares, globular o ovoide, 1/3 pulgadas de diámetro., volviéndose rojo oscuro, o en variedad comosa, Kurz, 3/4 pulgadas de diámetro y amarillo. Tiene un sistema radicular superficial extendido. Es de clima tropical, no tolera heladas. India (Bailey, 1924;

<http://www.tropicos.org/NameSearch.aspx?name=figus+benjamina&commonname=>, 2008)

Nombre: Galeana o Tulipán Africano

Nombre científico: *Spathodea campanulata* Wenzig.

Familia: BIGNONIACEAE

Origen: Madagascar, África

Árbol perennifolio de hasta 70 pies, tronco esbelto, recto y grisáceo y follaje denso de un tercio de altura en relación al tronco: hojas pinnadas de color verde oscuro en el haz y verde claro en el envés, de 1-1 ½ pies de largo; folíolos de 9- 19, pecíolos cortos, ovado-lanceolado o elíptico, de 2-4 pulgadas de largo, abruptamente cortamente acuminado, con 2-3 glándulas con textura de carne en la base, glabro o algo pubescente en el envés cuando son jóvenes: flores de color escarlata, ampliamente campanuladas y ventricosas, de 4 pulgadas aproximadamente, en muchos racimos o panículas; cáliz coriáceo, en forma de bote, 2 ½ pulgadas de largo; los lóbulos de la corola ovados, plegados, algo ondulados, cápsulas glabras aplanadas, de 2 pulgadas de largo. Tipo de raíz fibrosa, superficial. Las plántulas y los árboles jóvenes desarrollan una raíz pivotante carnosa, especialmente en suelo flojo. Las raíces laterales se desarrollan de manera gradual; los árboles de gran edad pueden tener un sistema radical lateral masivo. Es de clima tropical, de África. Es un árbol vistoso en los trópicos americanos. En el sur de África florece en el otoño y el invierno y en el Caribe florece desde el final del

invierno hasta el principio del verano. El área de distribución natural del tulipán africano se extiende a lo largo de la costa occidental de África, desde la república de Ghana hasta Angola, y tierra adentro cruzando el centro húmedo del continente hasta el sur del Sudán y Uganda. Su área de distribución atraviesa la línea ecuatorial desde la latitud 12°N. hasta la 12°S. El tulipán africano se ha plantado exitosamente como una especie de ornamento a través de la zona tropical húmeda. La especie crece desde casi el nivel del mar hasta una elevación de 1,200 m. El tulipán africano crece de manera natural en África en bosques secundarios en la zona de bosque alto y en los bosques de sabana caducifolios y en transición (Bailey, 1924; López, 2003; Chávez, 2006; Castaños, 1994; John, 1990)

Nombre: Orquídea de árbol

Nombre científico: *Bauhinia variegata* L.

Familia: LEGUMINOSAE

Origen: India y China

Árbol caducifolio de 6-8 m de altura, sin espinas, de conformación uniforme con muchas ramas de tamaño pequeño a mediano, las ramillas glabras o casi: las hojas son de color verde, tienen la forma de una huella de rumiante, por lo que se les conoce como "pata de vaca", miden de 2-5 pulgadas de largo y casi siempre son más amplias. 11-13 nervaduras, puberulento en las venas del envés, más bien gruesas, casi truncado a profundamente cordado en la base, los amplios lóbulos muy obtusos generalmente se extienden como un tercio debajo de la hoja pero a veces más profundo; pocas flores forman las axilas, vistosas, son parecidas a las orquídeas, 3-4 pulgadas a lo largo, con 5 pétalos, su color varía de lavanda a morado, el labio muy seguido está marcado atractivamente o moteado de morado; el tubo del cáliz aproximadamente 1 pie de largo e igualando o excediendo el limbo que es prominentemente spatáceo y pubescente; los pétalos son obovados, angostos como una garra, los más largos de un pie de ancho, a veces apiculado; estigmas pequeños. Vaina de 1 pie o menos de largo, mucho tiempo acechado y picuda, plana. La variedad Candida, Buch.- Ham. tiene flores claramente blancas. Florece de Junio a abril, generalmente después de que las hojas caen, en donde

la planta es decidua. Es de clima tropical. Se encuentra a una altitud de 300-1,800 m.s.n.m. Tiene raíz típica, fibrosa y profunda (Chávez, 2006; López, 2003; Bailey, 1924, Castaños, 1994; López y Sánchez, 2001).