

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y**  
**AGROPECUARIAS**



**EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DE**  
**FICUS (*Ficus benjamina* L.) AL CO<sub>2</sub> ATMOSFÉRICO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN LA MODALIDAD DE**  
**TESIS**

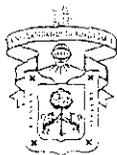
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA  
DAFNE IVETTE PÉREZ SOTO

DIRECTOR(A): BLANCA CATALINA RAMÍREZ HERNÁNDEZ

ASESOR(A): JULIA ZAÑUDO HERNÁNDEZ

Las Agujas, Zapopan, Jal., Abril 2013



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

COORD. BIOL. 057/2013

C. DAFNE IVETTE PÉREZ SOTO  
PRESENTE

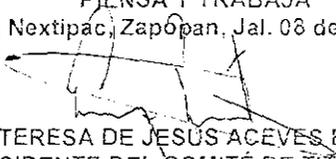
Manifiestamos a usted, que con esta fecha ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de Tesis e informes opción: Tesis, con el título "Evaluación de la respuesta fisiológica de ficus (*Ficus benjamina* L.) al CO<sub>2</sub> atmosférico", para obtener la Licenciatura en Biología.

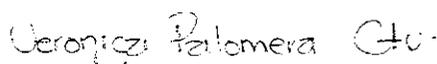
Al mismo tiempo le informamos, que ha sido aceptado como director(a) de dicho trabajo a la Dra. Blanca Catalina Ramírez Hernández y como asesor a la Dra. Julia Zañardo Hernández.

Sin más por el momento, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal. 08 de marzo del 2013.

  
DRA. TERESA DE JESUS ACEVES ESQUIVIAS  
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

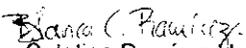
  
M.C. VERÓNICA PALOMERA AVALOS  
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Dra. Teresa de Jesús Aceves Esquivias  
 Presidente del Comité de Titulación  
 Licenciatura en Biología  
 CUCBA  
 Presente

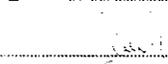
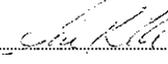
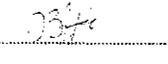
Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad Tesis e informes opción Tesis con el título: "Evaluación de la respuesta fisiológica de ficus (*Ficus benjamina* L.) al CO<sub>2</sub> atmosférico" que realizó la pasante DAFNE IVETTE PÉREZ SOTO con número de código 399475005 consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

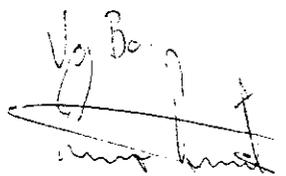
Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

Atentamente  
 Las Agujas, Zapopan, Jal., 8 de marzo del 2013

  
 Blanca Catalina Ramírez Hernández  
 Director/a del trabajo

  
 Julia Zañudo Hernández  
 Asesor(es)

Nombre completo de los sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
M. en C. Javier Eugenio García de Alba Verduzco		8/03/2013
Dra. América Loza Llamas		8/03/2013
M. en C. Aurora Rosas Ramírez		8/03/2013
Supl. Dra. Julia Zañudo Hernández		8/03/2013



Proyecto financiado por CONACyT: "Acumulación de contaminantes en especies vegetales en la zona metropolitana de Guadalajara" No. Proyecto 118977.

Proyecto financiado por la Universidad de Guadalajara a través de proyecto P3E.

Agradecemos el apoyo y facilidades otorgadas por el Patronato Bosque los Colomos para realizar este trabajo de investigación.

## AGRADECIMIENTOS

Debo agradecer de manera especial y sincera a la Dra. Blanca Catalina Ramírez Hernández por aceptarme para realizar esta tesis bajo su dirección. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiarme han sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación personal. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis. Muchas gracias. Expreso también mi más sincero agradecimiento a la Dr. Julia Zañudo Hernández por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis, así como su disponibilidad y paciencia. Al igual agradezco al M.C. Javier Eugenio García de Alba por su apoyo en la elaboración de esta tesis. Al Dr. Enrique Pimienta Barrios *por su apoyo ofrecido en este trabajo*. Agradezco a Paulina Gutiérrez Martínez por su incondicional apoyo sin el no hubiera sido posible el éxito del presente trabajo. A mis sinodales por sus atinadas observaciones. No cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado. A mis hermanos, que aunque siempre estemos alejados, siempre estaremos juntos. A mis abuelos Carlos, Conchita y mi Tía Silvia por su amor incondicional Así como a toda mi familia, por todo el apoyo, cariño y confianza que me han brindado desde que empecé mis estudios. A Ma. Concepción Ramírez y a Tarsicio Ortiz por darme siempre su apoyo incondicional y sobre todo por incluirme como un miembro más de su familia. A mis maestros de las diferentes áreas de la Universidad, por compartir sus Conocimientos en pro de la educación de sus alumnos. En general, les agradezco de todo corazón a todas aquellas personas que de alguna u otra forma, contribuyeron para la realización de esta tesis

## DEDICATORIA

A mi Madre:

Irma Patricia Soto Iñiguez, por todos los cúmulos de sabiduría y apoyo que siempre me brindo, huella imborrable en la memoria de todos los que la amamos. Algún día estaremos juntas, te amo sigue siendo la luz de mi vida.

A mi Padre:

*Jorge Alfredo Pérez Ramírez, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.*

A Natalie Cristian Ortiz Ramírez:

Por ser alguien muy especial en mi vida por todo *su* apoyo, cariño y comprensión en todo momento y circunstancia, por difícil que estas fueran y por demostrarme que en todo momento cuento con ella. Y sobre todo gracias a enseñarme a creer en mí y motivarme hacer las cosas de la mejor manera.

## CONTENIDO

Contenido	Pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2-5
ANTECEDENTES	6-13
JUSTIFICACIÓN	14
HIPÓTESIS	15
OBJETIVOS	15
MATERIALES Y MÉTODOS	16-20
RESULTADOS	21-25
DISCUSIÓN	26-31
CONCLUSIONES	32
LITERATURA CITADA	33-37

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1. Datos actuales y las tendencias de emisión de CO <sub>2</sub> (Stern, 2006).	8
Figura 2. Concentraciones atmosféricas mundiales de tres gases de efecto invernadero (Secretaría de la Convención sobre el Cambio Climático, 2004).	9
Figura 3. Follaje de <i>Ficus benjamina</i>	13
Figura 4. Perspectiva y delimitación del sitio no contaminado del Bosque los Colomos.	17
Figura 5. Mapa de Guadalajara donde se especifican los puntos conflictivos de tránsito, tomado de <a href="http://www.wikipedia.com">www.wikipedia.com</a>	18
Figura 6. Temperatura promedio, máxima y mínima en la Ciudad de Guadalajara (2011) (Obtenidos de la estación meteorológica CONAGUA).	21
Figura 7. Registros totales mensuales de Humedad relativa (%) y precipitación pluvial (mm) en la Ciudad de Guadalajara (2011) (Obtenidos de la estación meteorológica CONAGUA).	22
Figura 8. Registro promedio diario de la luz fotosintéticamente activa en los sitios con mayor y menor grado de contaminación en la Ciudad de Guadalajara (2011).	22
Figura 9. Imagen panorámica de zonas con alta afluencia vehicular en Guadalajara, Jalisco, México. <a href="http://www.publimetro.com.mx">www.publimetro.com.mx</a>	23
Figura 10. Imagen panorámica del Bosque los Colomos considerada como zona sin contaminación en Guadalajara, Jalisco, México.	24
Figura 11. Árbol de <i>Ficus benjamina</i> en la ZMG	30

## INDICE DE CUADROS

Cuadros	Pág.
Tabla 1. Mediciones microambientales en dos sitios con diferente grado de contaminación en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Los datos son promedio, letras diferentes indican diferencia significativa $p \leq 0.01$ .	23
Tabla 2. Mediciones microambientales anuales de $\text{CO}_2$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), asimilación neta de $\text{CO}_2$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y contenido de clorofila en <i>Ficus benjamina</i> , en dos sitios con diferente grado de contaminación en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Los datos son promedio, letras diferentes indican diferencia significativa $p \leq 0.01$ .	25
Tabla 3. Mediciones microambientales por estación húmeda y seca de $\text{CO}_2$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), asimilación neta de $\text{CO}_2$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y contenido de clorofila en <i>Ficus benjamina</i> , en dos sitios con diferente grado de contaminación en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Los datos son promedio, letras diferentes indican diferencia significativa $p \leq 0.01$ entre estaciones en cada sitio.	25

## RESUMEN

En los ecosistemas urbanos la contaminación es un problema cada vez más grave debido a la concentración cada vez mayor de la población teniendo efectos negativos en la salud. Uno de los problemas a los que se le ha prestado atención son los efectos de los gases de tipo invernadero, entre los que encontramos el dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, entre otros. La concentración del dióxido de carbono en la proporción de la composición del aire ha ido en aumento en los últimos años y aunque no tiene un efecto directo en salud, lo cierto es que es el que causa mayores daños por el fenómeno de efecto invernadero. Una forma de contrarrestar estos efectos es la captación del dióxido de carbono por especies vegetales por medio de la fotosíntesis. En la Zona Metropolitana de Guadalajara existen una gran cantidad de especies que se emplean para el arbolado urbano, siendo el *Ficus benjamina* una de las especies más empleadas por ofrecer diferentes beneficios (es una especie perenne, ornamental, otorga sombra, amortigua el efecto de isla de calor, entre otros). Se realizó un estudio comparativo para determinar la capacidad de fijación de carbono en arboles de Ficus en dos ambientes con diferente grado de contaminación (alto y bajo). Se realizaron mediciones microambientales de gases tipo invernadero ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ), así como el contenido de clorofila. Las tasas de fijación de dióxido de carbono indican que un ambiente urbano rico en  $\text{CO}_2$  la especie *F. benjamina* presenta mayor eficiencia fotosintética y por lo tanto mayor captación de este gas de tipo invernadero.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación es uno de los problemas ambientales que afectan a nuestro planeta, esta problemática se presenta cuando, por la presencia ya sea cuantitativa o cualitativa de materia o energía, se produce un desequilibrio ambiental, en otras palabras la contaminación es la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidades tales, que cause efectos adversos en los seres humanos y otros organismos o materiales que se encuentren expuestos a dosis (concentración por tiempo) que sobrepasen los niveles que se encuentran regularmente en la naturaleza (Voguel y Rivas, 1999).

En los términos anteriores podemos entender que la contaminación puede ser, por su origen, natural o antropogénica; dentro del concepto de ésta última se encuentra la basura, *smog*, descargas de aire, agua y suelo de procedencia industrial. En las zonas urbanas uno de los problemas más grandes es la contaminación del aire, la atmósfera se ve afectada por la adición de compuestos, entre los que destaca el *smog*, que es la mezcla de compuestos que se originan por la reacción de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno (Voguel y Rivas, 1999) generados por la combustión de hidrocarburos.

La contaminación del aire es un problema severo (Seyyednejad y Koochak, 2011) y es causante de daños graves al ambiente con un impacto económico negativo (Chiras, 2001; Stern, 2006). Es un fenómeno que tuvo un despunte con la Revolución Industrial, en donde el uso de combustibles fósiles

se aceleró marcando un aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, así el fenómeno de la contaminación no es reciente, de hecho en 1903 se reportó que emanaciones de industrias en Los Ángeles fueron tan espesas que los habitantes pensaron que se trataba de un eclipse (AQMD, 1997; citado por Molina y Molina, 2005).

En Mauna Loa, Hawaii se ha llevado a cabo una observación de la concentración atmosférica de dióxido de carbono evidenciando un aumento en más de 25% en los últimos 100 años (Smith y Smith, 2000). Ruiz (2007) menciona que «El equilibrio natural del ciclo del carbono se ha roto en el sentido de que el carbono se encuentra en mayor cantidad en el CO<sub>2</sub> que en forma de carbón acumulado en plantas o en seres vivos de todo tipo», este mismo autor hace hincapié en que lo anterior es consecuencia de un exceso de combustiones de carbono fósil (*i.e.* carbón mineral, petróleo y gas natural) almacenado durante millones de años en el interior del planeta y de una disminución radical de la fotosíntesis (único proceso de captación del CO<sub>2</sub>) en los bosques, que han disminuido a aproximadamente la mitad de los existentes cuando el hombre apareció sobre la Tierra.

Por otro lado, el crecimiento de las ciudades y la industrialización han originado la presencia de diversas sustancias nocivas y contaminantes asociado a la calidad del medio ambiente tiene un impacto en las condiciones de vida de sus habitantes, por lo cual es menester estudiar la vegetación por ser uno de los soportes ecológicos de los ecosistemas urbanos (Alcalá *et al.*, 2008). En este sentido Vives y cols. (2006) señalan que la urbanización y la industrialización han originado la presencia de diversas sustancias nocivas y

contaminantes en el ambiente que ponen en riesgo la salud humana así como la vegetación, lo cual ha propiciado tomar en cuenta el uso de líquenes, cultivos agrícolas, plantas ornamentales y algunas especie de árboles como bioindicadores.

De los gases invernadero el CO<sub>2</sub> cobra especial importancia por su efecto sobre las condiciones climáticas del planeta debido a que es un gas de larga permanencia, es decir, es un gas que permanece activo en la atmósfera durante mucho tiempo. Así, por ejemplo, del CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera, sobre el 50% tardará 30 años en desaparecer, un 30% permanecerá varios siglos y el 20% restante durará varios millares de años (Solomon *et al.*, 2007).

Las plantas se han utilizado con éxito en sistemas urbanos como acumuladores (Kurteva, 2009) siendo el recurso más adecuado para contrarrestar los daños por la contaminación ambiental debido a que tienen la capacidad de captar el CO<sub>2</sub> atmosférico y por medio de el fenómeno de la fotosíntesis pueden metabolizarlo para la obtención de azúcares y otros compuestos que requieren para su desarrollo. Por lo tanto podemos afirmar que las plantas, a través de la fotosíntesis, extraen el carbono de la atmósfera (en forma de CO<sub>2</sub>) y lo convierten en biomasa. La biomasa al descomponerse se convierte en parte del suelo (en forma de humus) o en CO<sub>2</sub> (a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa).

Y aunque es bien sabido que el proceso de respiración contribuye a las emisiones de carbono, las plantas tienen la capacidad de fijar CO<sub>2</sub> que compensa tanto las pérdidas de este gas que se produce por la respiración y por las emisiones producidas en otros procesos naturales como la

descomposición de materia orgánica, de esta manera la captación de CO<sub>2</sub> por los ecosistemas vegetales terrestres juega un papel básico en el balance global de carbono. A escala mundial se considera que la biosfera terrestre fija cerca de 2'000,000 ton/año (UNESA, 2005). Este valor es el resultante de la pequeña diferencia entre la absorción fotosintética de CO<sub>2</sub> y las pérdidas por respiración, por descomposición de la materia orgánica y por perturbaciones de diferente naturaleza. A este valor le se denomina producción neta de la biosfera (PNB), y es la cantidad que a largo plazo queda almacenada en el sumidero.

La captación de CO<sub>2</sub> por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO<sub>2</sub> atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO<sub>2</sub> emitido por la atmosfera durante la respiración, esta diferencia es lo que conocemos como asimilación neta de CO<sub>2</sub>. Esta diferencia es convertida en biomasa y suele oscilar entre el 45-50 % del peso seco de la planta. Por lo tanto, mientras el crecimiento sea alto, la vegetación natural y los cultivos agrícolas se convierten en los sumideros de carbono. Teniendo esto en cuenta, la agricultura se puede convertir en un mecanismo efectivo para mitigar el incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico.

, utilizando especies resistentes que soporten las condiciones ambientales adversas y de esta manera poder ser utilizadas en el establecimiento de programas de reforestación que mitiguen el problema, ya que para el desarrollo de áreas verdes es necesario que la planta seleccionada sea tolerante a la contaminación atmosférica (Amini *et al.*, 2011) obteniendo numerosos beneficios, el más evidente es de la captación de CO<sub>2</sub>.

## ANTECEDENTES

El cambio climático es una variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantiene durante un período prolongado (generalmente, durante decenios o por más tiempo). “La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)”, en su Artículo uno, define el cambio climático como: “cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (Jarma *et al.*, 2012).

El calentamiento global está asociado a un cambio climático que puede tener causa antropogénica o no y se puede definir como el aumento progresivo de la temperatura media del planeta a lo largo del tiempo, ocasionado por el incremento de concentraciones de gases de efecto invernadero, cuyas concentraciones se han incrementado considerablemente desde 1750. El calentamiento global es un fenómeno complejo y aunque es difícil predecir el impacto de este fenómeno, cada año se genera más información científica sobre la forma en que el calentamiento global está afectando al planeta, esta información nos ha dejado ver que es probable que se tengan consecuencias negativas (i.e. erosión genética) de continuar con las tendencias actuales (Stern, 2006; Jarma *et al.*, 2012).

Por otro lado, el principal efecto que causa el calentamiento global es el efecto invernadero, el cual es un fenómeno por el cual determinados gases, que

son componentes de la atmósfera de nuestro planeta, retienen parte de la energía que la superficie de la Tierra emite por haber sido calentada por la radiación estelar. Este fenómeno evita que la energía recibida constantemente vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala global un efecto similar al observado en un invernadero (Secretaría de la Convención sobre el Cambio Climático, 2004).

De acuerdo con la mayoría de la comunidad científica, el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases denominados gases invernadero (dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos, vapor de agua) que atrapan una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que hagan aumentar la temperatura planetaria entre 1,5 y 4,5°C. Como respuesta a esto, se estima que los patrones de precipitación global, también se alteren. Aunque hay un acuerdo general sobre estas conclusiones, existe una gran incertidumbre con respecto a las magnitudes y a las tasas de estos cambios a escalas regionales (Jarma *et al.*, 2012).

El dióxido de carbono y otros contaminantes del aire, se acumulan en la atmósfera formando una capa cada vez más gruesa, atrapando el calor del sol y causando el calentamiento del planeta (NRDC, 2008). El dióxido de carbono es el principal gas de efecto invernadero y se produce cuando se utilizan combustiones fósiles para generar energía y cuando se talan y queman bosques (Secretaría de la Convención sobre el Cambio Climático, 2004).

Es bien conocido que el aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub> tendrá un impacto negativo a nivel mundial, siendo México uno de los países que se proyecta aumentarán de forma significativa su emisiones de CO<sub>2</sub> (Figura 1).

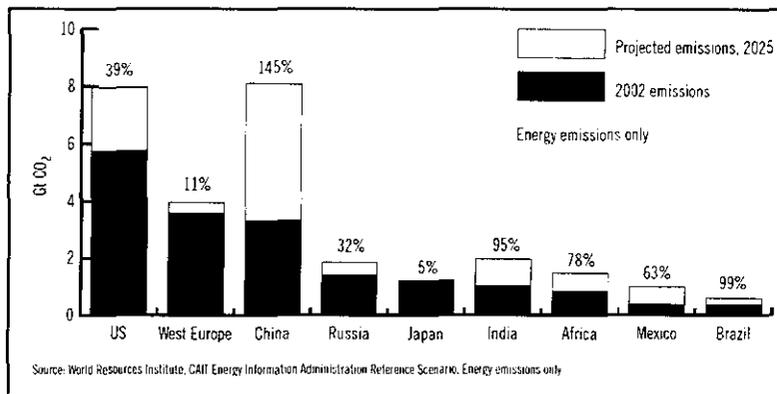


Figura 1. Datos actuales y las tendencias de emisión de CO<sub>2</sub> (Stern, 2006).

En los últimos años, la atención en zonas urbanas respecto a contaminantes atmosféricos se ha acentuado en la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), debido a que la actividad humana y la actividad de los automóviles producen más del 80 % de este gas de tipo invernadero (Figura 2) (Gratani y Varone, 2006).

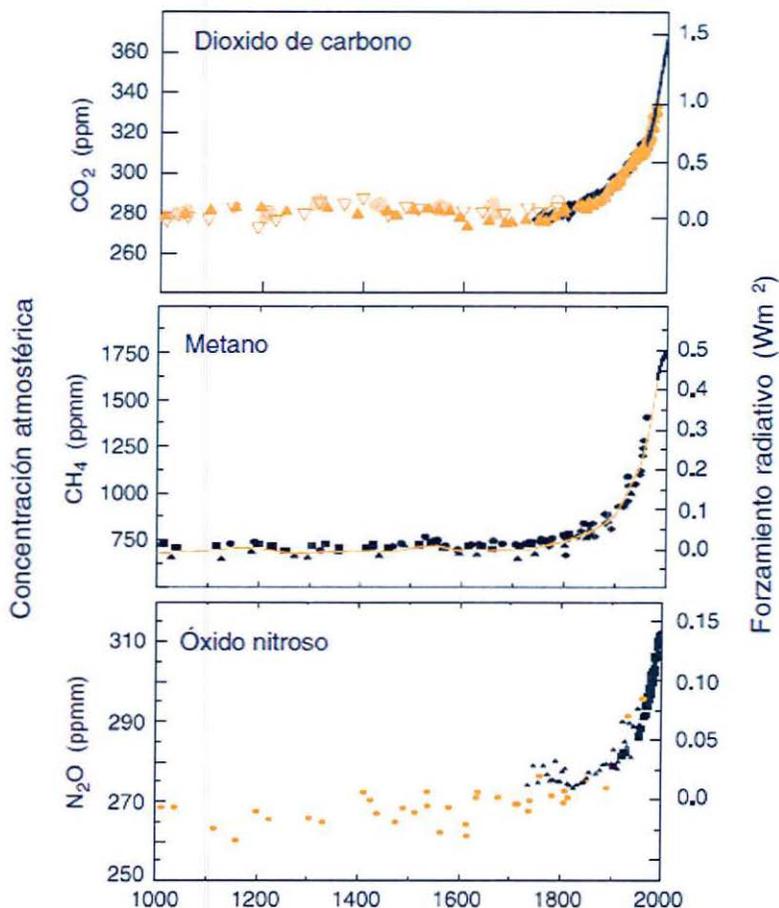


Figura 2. Concentraciones atmosféricas mundiales de tres gases de efecto invernadero (Secretaría de la Convención sobre el Cambio Climático, 2004).

El CO<sub>2</sub> es el principal gas de efecto invernadero. En la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), al igual que otras grandes urbes, las

emisiones de contaminantes provienen de diversas fuentes como la industria, los medios de transporte tanto público como privado, así como los provenientes del uso doméstico.

Por otro lado, los árboles actúan como sumideros de CO<sub>2</sub>, fijando carbono y otros contaminantes atmosféricos y almacenando el exceso de carbono como biomasa (Loretta, 2006). Los árboles, son considerados para poblar ecosistemas urbanos por diversas características, además de otros beneficios que proporcionan ya que pueden contrarrestar la intensidad de las islas de calor, reducen la temperatura del aire, entre otros (Nowak *et al.*, 1997). A mediano plazo también pueden ayudar a mitigar los efectos del calentamiento global (Donovan *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2005; Alig y Bair, 2006), ya que un ambiente elevado en CO<sub>2</sub> puede favorecer la eficiencia fotosintética (Drake *et al.*, 1996), este hecho favorece la productividad fotosintética de especies que se desarrollan en ambientes urbanos.

La forma en que se fija el CO<sub>2</sub> en las plantas es gracias al proceso de fotosíntesis, en el cual típicamente se diferencian dos fases:

Fase luminosa. En esta fase, gracias a un proceso fotoquímico en los pigmentos de los cloroplastos (clorofila a y b, carotenoides y xantofilas) se obtienen las moléculas que aportarán la energía necesaria para llevar a cabo la fase oscura de la fotosíntesis. O sea que, para tener más fotosíntesis se requiere agua, luz y CO<sub>2</sub>.

Fase oscura. No requiere la presencia de luz. Es una ruta metabólica que incorpora el carbono del CO<sub>2</sub> atmosférico para formar compuestos carbonados (que corresponden al 85-90% del peso seco de las plantas). Es el conocido

ciclo de Calvin para las plantas C3, la vía Hatch-Slack para la C4, y el ciclo CAM. La mayoría de plantas de interés agrícola y especies forestales son del tipo C3.

A mayor superficie foliar, mayor intercepción de la radiación y mayor fotosíntesis bruta. A mayor intensidad de radiación, mayor fotosíntesis (considerando desde luego la saturación lumínica que depende de cada especie y variedad). A mayor difusión de CO<sub>2</sub> desde la atmósfera hasta los cloroplastos, mayor fotosíntesis. El factor más determinante en la difusión es la apertura estomática con exceso de temperaturas o déficit hídrico, se produce cierre de estomas. En la difusión de CO<sub>2</sub> también influye la concentración en el aire que rodea la hoja, la turbulencia. A baja concentración de CO<sub>2</sub> en las plantas C3 puede producirse fotorrespiración debido a la incorporación de O<sub>2</sub> en el ciclo de Calvin.

Los valores de fotosíntesis que se alcanzan en una planta no tienen por qué corresponder directamente con la producción de biomasa. Hay una parte que se destina al mantenimiento de los tejidos fisiológicamente activos y otra que se destina a síntesis de nuevo tejido vegetal. A mayor temperatura, mayor tasa de respiración. Con temperaturas excesivamente bajas, las reacciones bioquímicas se ralentizan y se dispone de poca energía para los procesos de translocación de azúcares, síntesis de proteínas, formación de paredes celulares, etc. (Miquel, 2001).

Por otro lado, el género *Ficus* pertenece a la familia Moraceae; dicho género posee entre 700 y 2000 especies en todo el mundo (Condit, 1969;

Ibarra, 1990, citada en Soto *et al.*, 2006) muchas de las cuales son utilizadas como ornamentales. El género *Ficus* está conformado aproximadamente de 1000 especies de orígenes tropicales y subtropicales (Wagner *et al.*, 1999 citada en Abouzar *et al.*, 2012). Todas las plantas de su género son leñosas, que van desde árboles, arbustos hasta escaladoras.

Alcanza 30 m de altura en condiciones naturales, con gráciles ramas péndulas y hojas gruesas de 6-13 cm de largo, ovales con punta acuminada. En su rango nativo, sus frutos son alimento de diversas especies de aves.

Tras el invierno, mantiene su desarrollo a la mínima expresión, llega la primavera y con ella el arranque de nuevo de sus brotaciones. Tanto *Ficus benjamina*, *F. binnendijkii*, como *F. robusta*, son *Ficus* muy propensos a entrar en la primavera acompañados de brotaciones más o menos espectaculares que no cesarán hasta ya bien adentrado el otoño.

Los días más largos, temperaturas de día más bien altas y moderadas por la noche, son condiciones adecuadas para esta especie, y le permite presentar un crecimiento espectacular apreciable en poco tiempo. Sus nuevas hojas son verdes más suaves que contrastan con las antiguas de color mucho más oscuro.

Dentro del género *Ficus*, *Ficus benjamina* L. es sin duda una de las especies más apreciadas ya que sus individuos son árboles de sombra nobles y elegantes; este árbol es considerado como adecuado para detener el polvo y absorber el calor que se genera en las calles; además sus hojas tienen

capacidad para neutralizar la lluvia ácida (Salim y Khalaf, 1994 citada en Soto *et al.*, 2006).

La especie *F. benjamina* es una muestra de grandes variaciones, con demasiados cultivares y variedades en cultivo (Hojee, 1998, citada en Abouzar *et al.*, 2012). En áreas templadas del mundo crece como una planta doméstica. Las especies de *Ficus* se propagan a partir de la semilla y muchas otras pueden hacerlo desde los esquejes. El éxito de la producción en invernaderos y viveros de plantas cultivadas en contenedores depende en gran medida de las propiedades físicas y químicas de los medios de cultivo (Fitzpatrick, 2001; Wilson *et al.*, 2003, citada en Abouzar, 2012).

El ficus (*Ficus benjamina*) es una especie ampliamente difundida en áreas urbanas en la ZMG, y se planta en parques, jardines, camellones y banquetas. Esta especie es originaria del sureste de Asia y Australia (Britnall y Conner, 2001). Este árbol es apreciado por sus características ornamentales, es una especie perennifolia, tiene un rápido crecimiento y denso follaje (Figura 3), lo que le permite proveer de sombra, al igual que otras especies de árboles se emplea como barrera de sonido, además de proveer hábitat a fauna (Botkin y Keller, 2000).



Figura 3. Follaje de *Ficus benjamina*

## JUSTIFICACIÓN

La contaminación del aire afecta a ecosistemas urbanos y naturales a causa del transporte de masas de aire contaminadas a sitios remotos (Klump *et al.*, 2000). Los árboles actúan como sumideros de CO<sub>2</sub>, fijando carbono y otros contaminantes atmosféricos y almacenando el exceso de carbono como biomasa (Loreta, 2006). El impacto de la calidad del aire en grandes ciudades presenta un problema con una gran cantidad de fuentes de incertidumbre y retos científicos (Benjey *et al.*, 2005; EPRI 2005; Jacob y Winner 2009; Ramanathan y Feng 2009). Y dado que la investigación en esta área es escasa, el conocimiento que se genere de los estudios de la fijación de contaminantes en plantas en áreas urbanas *in situ* puede ser de gran utilidad para implementar modelos de respuesta de ecosistemas urbanos al calentamiento global (Luo *et al.*, 1996; Tissue *et al.*, 1999). De manera que los estudios dirigidos a evaluar la respuesta de la planta completa a los cambios globales del ambiente, particularmente el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> (Bazzaz, 1998) permitirá proyectar de manera adecuada la repoblación de especies forestales en la ZMG, implementar estrategias de cultivo en áreas naturales, así como programas de calidad del aire.

## HIPÓTESIS

Este trabajo parte de la hipótesis de que la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> se ha incrementado en la Zona Metropolitana de Guadalajara, y ésta influye en la variación de la fijación CO<sub>2</sub> por la especie *Ficus benjamina* L. siendo más eficiente la fijación en un ambiente con mayor concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>.

## OBJETIVO GENERAL

Evaluar la respuesta fotosintética de *Ficus benjamina* L. al CO<sub>2</sub> atmosférico en dos ambientes con diferente nivel de concentración de CO<sub>2</sub> en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

### Objetivos particulares

1. Obtener los registros de fijación neta de CO<sub>2</sub> en *Ficus benjamina* L. en dos ambientes, con nivel bajo y alto de contaminación en la Zona Metropolitana de Guadalajara.
2. Relacionar los valores microambientales con las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico en dos ambientes (contaminado y de menor contaminación) en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

## METODOLOGÍA

### Zona de estudio

Este estudio se realizó de enero a diciembre de 2011 en árboles de *Ficus benjamina* L., esta especie se planta comúnmente en banquetas, camellones, parques y jardines de la ciudad de Guadalajara. Se eligieron dos sitios con gradiente de contaminación alto y bajo de acuerdo a la afluencia vehicular reportada por la Secretaría de Tránsito y Vialidad y por la SEMADES (2008) (Figura 4).

El primer sitio considerado como no contaminado corresponde al Bosque los Colomos que tiene una superficie aproximada de 110.17 ha y se localiza en el noroeste del municipio de Guadalajara, Jalisco Calle El Chaco 3200 Col. Providencia (Figura 5). Ocupa una porción territorial de la microcuenca de Atemajac, se encuentra delimitado por calles de la ciudad de Guadalajara tales como avenida Patria, calle Alberta, calle El Chaco y calle Nueva Escocia. Muy cerca del cruce de la Avenida Patria con la Avenida Américas. Dentro de la Colonia Providencia, en Guadalajara (Informe Técnico, 2006).

Para el sitio considerado como contaminado se eligió la Zona Centro de Guadalajara, ya que acorde a tránsito y vialidad se consideran como una de las zonas con mayor afluencia vehicular, acorde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2013) en las zonas urbanas con intenso tráfico vehicular, las partículas contaminantes pueden persistir en el aire

durante algunas semanas antes de sedimentarse y que son emitidas por los autotransportes que consumen combustibles fósiles.



Figura 4. Perspectiva y delimitación del sitio no contaminado del Bosque los Colomos.

#### **Medición de contaminantes ambientales:**

La medición microambiental de  $\text{CO}_2$  atmosférico se llevó a cabo de forma itinerante cada hora a lo largo del día (que es cuando las plantas fijan el  $\text{CO}_2$  por el proceso de fotosíntesis) empleando un analizador de  $\text{CO}_2$  al infrarrojo (LI-840). Las mediciones para  $\text{CO}$  y  $\text{SO}_2$  se realizaron con el equipo MSA ALTAIR 5 y para las mediciones de  $\text{NO}_2$  con el equipo MSA ALTAIR PRO. Las mediciones se realizaron de forma mensual para obtener un promedio anual en dos ambientes contaminados con base en la relación de la circulación



sistema portátil para medir fotosíntesis (LI-COR LI-6400), en hojas de diferentes posiciones del follaje de la especie en estudio. De los datos obtenidos del intercambio de gases se calculó la tasa de fijación de carbono en *F. benjamina* para obtener un dato anual y por estación seca y húmeda. Para este estudio se emplearon en promedio 10 árboles por sitio.

Datos Microclimáticos. El flujo fotosintético de fotones [FFF, longitud de onda de 400 a 700 nanómetros (nm)], se registró por mes, cada dos horas desde la salida, hasta la puesta del sol (7 a 19 h) con un sensor cuántico LI-190S (Li-Cor, Lincoln NE). Las mediciones se hicieron en campo abierto en ambos sitios de estudio. Estos datos se presentan como promedios. La temperatura ambiental y los datos de la precipitación se obtuvieron de la estación meteorológica proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

#### **Contenido foliar de clorofila.**

Con el fin de determinar la respuesta fisiológica al estrés se empleó como indicador la medición de clorofila. Para la determinación de clorofila (Bruinsma 1961), se empleó tejido fresco de hojas. 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 realizando la lectura de absorbencia en un Lector de Microplacas.

Para el análisis de los datos se utilizó estadística descriptiva en la presentación global de los datos. Para comparación de los datos entre sitios se utilizó un análisis de varianza y la prueba t Student

## RESULTADOS

### Datos climáticos

Los datos climáticos de Guadalajara indican que las temperaturas más altas se presentan en la primavera, que es la época seca (junto con el invierno), en el año de muestreo no se presentaron temperaturas inferiores a 5°C (mes de enero) y el valor máximo fue cercano a 35°C (mes de mayo) (Figura 6). La precipitación pluvial se presentó característicamente en el verano (acompañada de un aumento de humedad relativa) con siete meses de sequía (Figura 7). Con respecto a la flujo fotosintético de fotones se registraron datos superiores en la zona con menor grado de contaminación (Figura 8).

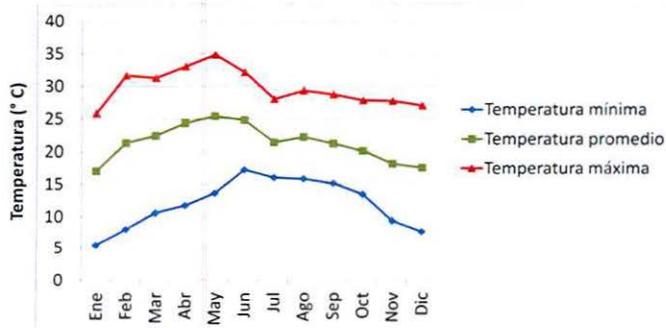


Figura 6. Temperatura promedio, máxima y mínima en la Ciudad de Guadalajara (2011) (Obtenidos de la estación meteorológica CONAGUA).

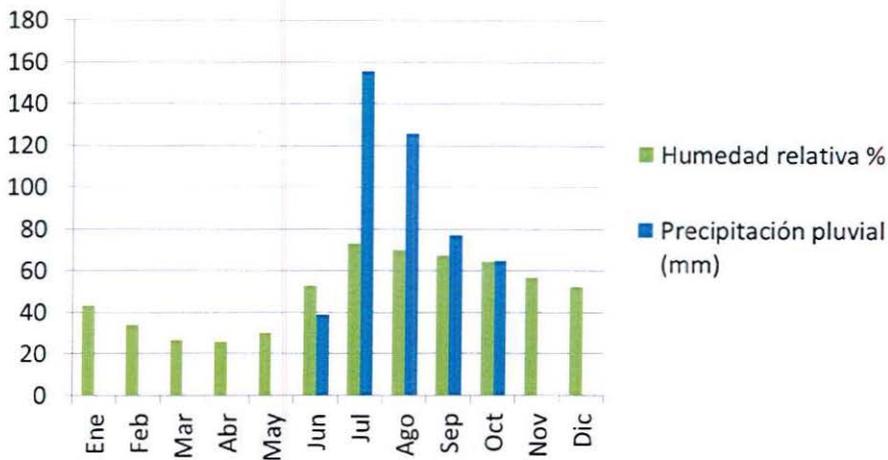


Figura 7. Registros totales mensuales de Humedad relativa (%) y precipitación pluvial (mm) en la Ciudad de Guadalajara (2011) (Obtenidos de la estación meteorológica CONAGUA).

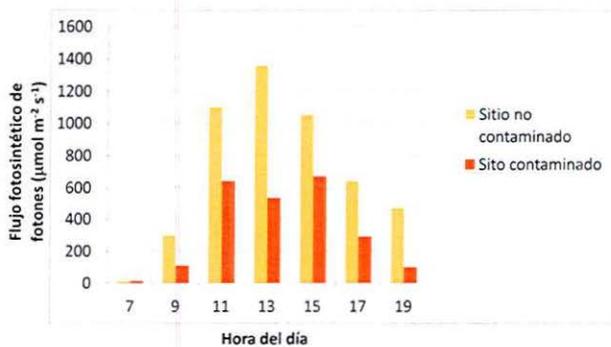


Figura 8. Registro promedio diario de la luz fotosintéticamente activa en los sitios con mayor y menor grado de contaminación en la Ciudad de Guadalajara (2011).

## Mediciones microambientales

Las concentraciones microambientales de (Tabla 1) indican que las concentraciones de CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> presentan valores promedio anuales superiores en el ambiente con mayor grado de contaminación (Tabla 2) en comparación con la zona considerada con un menor grado de contaminación, es decir no está sujeta a un intenso tráfico vehicular.

Tabla 1. Mediciones microambientales en dos sitios con diferente grado de contaminación en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Los datos son promedio, letras diferentes indican diferencia significativa  $p \leq 0.01$ .

SITIO	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
Contaminado	6.67014643 a	0.10512584 a	0.00111576 a
No contaminado	0.07386364 b	0.00340909 b	0.00056818 a

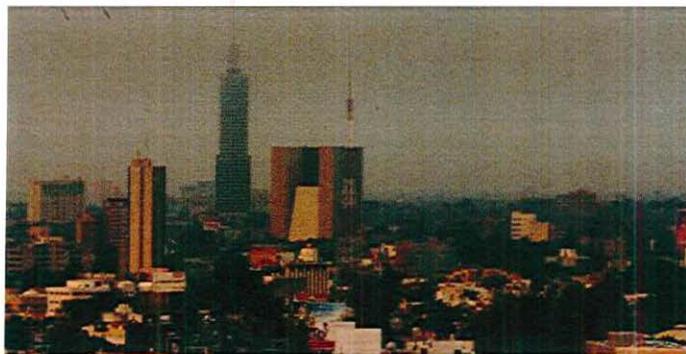


Figura 9. Imagen panorámica de zonas con alta afluencia vehicular en Guadalajara, Jalisco, México. [www.publimetro.com.mx](http://www.publimetro.com.mx)



Figura 10. Imagen panorámica del Bosque los Colomos considerada como zona sin contaminación en Guadalajara, Jalisco, México.

Los datos microambientales de  $\text{CO}_2$  registrados indican que las concentraciones de este gas de tipo invernadero en el ambiente con mayor grado de contaminación tienen un registro máximo de 675 ppm y mínimo de 340 con un promedio de  $443 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  con diferencias significativas. Al analizar los datos de asimilación neta promedio anual encontramos diferencias significativas (Tabla 2) encontrando que en el ambiente más contaminado (es decir el ambiente enriquecido en  $\text{CO}_2$ ) hubo una mayor asimilación por las hojas de los árboles de ficus, a pesar de que en promedio se presentaron datos superiores de luz en el Bosque los Colomos (sitio no contaminado). Sin embargo al realizar los análisis de forma separada de las estaciones húmeda (asimilación neta de  $\text{CO}_2$   $15.89 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y seca (asimilación neta de  $\text{CO}_2$   $15.69 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), no encontramos diferencia significativa en los datos

promedio en el ambiente no contaminado, pero sí en el ambiente contaminado, en donde la estación seca presentó una mayor asimilación neta de CO<sub>2</sub>.

Tabla 2. Mediciones microambientales anuales de CO<sub>2</sub> (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), asimilación neta de CO<sub>2</sub> (□mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y contenido de clorofila en *Ficus benjamina*, en dos sitios con diferente grado de contaminación en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Los datos son promedio, letras diferentes indican diferencia significativa p ≤ 0.01.

Sitio	Concentración microambiental de CO <sub>2</sub> (□mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Asimilación neta de CO <sub>2</sub> (□mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Flujo Fotosintético de Fotones (□mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Clorofila total μg cm <sup>-2</sup>
Menor grado de contaminación (Los Colomos)	397 a	15.8 a	655.77 a	28.55 a
Mayor grado de contaminación (Zona Centro de Guadalajara)	443 b	17.2 b	527.35	23.20 b

Tabla 3. Mediciones microambientales por estación húmeda y seca de CO<sub>2</sub> (□mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), asimilación neta de CO<sub>2</sub> (□mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y contenido de clorofila en *Ficus benjamina*, en dos sitios con diferente grado de contaminación en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Los datos son promedio, letras diferentes indican diferencia significativa p ≤ 0.01 entre estaciones en cada sitio.

Sitio	Estación del año	Asimilación neta de CO <sub>2</sub> (□mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Clorofila total μg/cm <sup>2</sup>
Menor grado de contaminación	Seca	15.69 a	28.44 a
	Húmeda	15.89 a	26.35 a
Mayor grado de contaminación	Seca	22.01 a	17.35 a
	Húmeda	13.97 b	34.79 a

## DISCUSION

Los datos de monitoreo del aire mostraron claramente las altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO en el sitio de estudio considerado como contaminado. La contaminación del aire puede afectar directamente a las plantas a través de hojas o indirectamente a través de la acidificación del suelo, se tienen registros de que la superficie foliar de las plantas es el receptor más importante de los contaminantes aéreos (Rai *et al.*, 2010). En áreas contaminadas las plantas generalmente pueden presentar daños fisiológicos antes que daños visibles en las hojas (Seyyednejad y Koochak, 2011a). En un estudio realizado con *Eucalyptus camaldulensis* en Irán en dos sitios (contaminado y no contaminado) se analizaron las diferencias del contenido de azúcares, el área contaminada tuvo una mayor concentración de azúcares (Seyyednejad y Koochak, 2011b), igualmente las concentraciones de clorofila fueron mayores en el sitio contaminado, aunque generalmente un ambiente contaminado implica menor área foliar y la destrucción de pigmentos, en ese sentido nuestros datos muestran una tendencia similar en el contenido de clorofila ya que el contenido total de este pigmento fotosintético fue mayor en los árboles de ficus evaluados en el Bosque los Colomos. Considerando que determinados agentes contaminantes pueden aumentar el contenido total de clorofila (Allen *et al.*, 1987), otros lo disminuyen. En el presente estudio, se ha observado que las plantas de ambos sitios de estudio presentan contenido de clorofila similar, aunque en otros estudios se ha mostrado que puede existir diferencias significativas (Agbaire y Esiefarienne, 2009).

Muchos cambios en la fisiología de las plantas causados por la contaminación del aire, son respuestas biológicas compensatorias al estrés ambiental, siendo la principal estrategia compensatoria reducir el daño por estrés ambiental al máximo (Seyyednejad y Koochak, 2011b). El contenido relativo de agua en un cuerpo de planta ayuda a mantener su equilibrio fisiológico en condiciones de estrés de la contaminación del aire (Agbaire y Esiefarienrhe, 2009), lo anterior aunado a la mayor disponibilidad de CO<sub>2</sub> en el ambiente pudo permitir a *F. benjamina* presentar mayores tasas fotosintéticas en el sitio contaminado, con respecto a la disponibilidad de agua en el sustrato donde se desarrollan los árboles de ficus es importante señalar que el sistema municipal realizó riegos frecuentes estos dos factores en conjunto pudieron resultar en una mejor actividad fotosintética (y por lo tanto mayor eficiencia de la enzima Rubisco como carboxilasa y no como oxigenasa. Por otro lado al realizar la comparación de asimilación entre época seca y húmeda el sitio contaminado en invierno-primavera presentó mayor asimilación de CO<sub>2</sub>, lo cual puede ser debido a que, además de la mayor disponibilidad de este gas invernadero y del agua, es la época en que se presenta menor nubosidad.

Si bien en otros estudios al igual que en el presente trabajo se demostró que las que las concentraciones microambientales de contaminantes estaban por debajo del umbral de daño a las plantas, Rai y cols. (2010) consideran que el efecto combinado de los contaminantes puede actuar sinérgicamente causando un mayor impacto adverso en la fisiología de las plantas.

No obstante que los contaminantes pueden causar lesiones en hojas, causar daño estomático, provocar senescencia prematura, disminuir la actividad fotosintética, afectar la permeabilidad de la membrana y reducir el crecimiento y rendimiento en las especies de plantas sensibles (Tiwari *et al.*, 2006), en el mundo numerosas especies de árboles y arbustos han sido identificados y empleados en áreas urbanas como filtros (Rai *et al.*, 2010) y por lo tanto capaces de enfrentar con éxito un ambiente contaminado. Y si bien al realizar el análisis encontramos diferencias significativas entre ambos sitios al comparar los datos totales de forma anual, cuando se analizaron por sitio y por estación del año encontramos que no hubo diferencias significativas en el sitio no contaminado, pero si en el que presentaba mayor rango de contaminación, encontrando una asimilación neta de CO<sub>2</sub> mayor en la época seca, la cual coincide con la primavera, que es cuando las plantas de esta especie producen hojas nuevas y al haber una mayor disponibilidad de CO<sub>2</sub> es probable que facilitara la captación del mismo, en este caso un factor relevante para la captación del CO<sub>2</sub> por *F. benjamina* puede ser el gran desarrollo vegetativo que alcanza esta especie a lo largo de su vida, siendo árboles muy frondosos y por lo tanto con gran superficie foliar, lo cual nos conduce a decir que por lo anterior tienen mayor capacidad de captación de CO<sub>2</sub>.

Es importante no pasar desapercibido que dado el carácter de árbol de ornato en muchas ocasiones se le da forma a la copa, por lo que como producto de las podas se podría seguir con un proceso de descomposición que se implique una fijación de carbono en el suelo (20-35% del contenido en C de la poda en un año; Brady y Weil, 2004). Esta práctica mejoraría las condiciones

del suelo y reduciría las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, otra opción es utilizar estos desechos como materia prima para la obtención de, por ejemplo, energías renovables.

Es necesario apuntar que la combustión de quema de combustibles fósiles contribuye del 25 al 40% al aumento del CO<sub>2</sub> (Baumert y Pershing, 2004; Stern, 2006), por lo que la resolución de este problema debe ser de diversas índoles, entre ellas la elección de especies vegetales que fijen con mayor eficiencia este gas de tipo invernadero. Los resultados derivados de este estudio indican que *Ficus benjamina* se desarrolla de forma adecuada en un ambiente urbano con un grado alto de contaminación, ya que la concentración promedio de CO<sub>2</sub> va en aumento, lo cual concuerda con lo reportado con Ziska y col. (1991) que mencionan que el incremento en la productividad de algunas especies de árboles tropicales se debe a la adaptación fisiológica en respuesta al incremento de CO<sub>2</sub> ambiental.

Por otro lado la captura de CO<sub>2</sub> no es lo único que se debe de tomar en cuenta para contrarrestar el problema de la contaminación. Un estudio realizado con *F. benjamina Variegata* en condiciones controladas reveló que el polvo depositado en la superficie foliar afecta de modo importante la conductancia estomatal en este mismo estudio recomienda la limpieza periódica del área foliar en las plantas ubicadas en interiores (Abo-Rizq *et al.*, 2008).

Ruiz (2007) propone como solución al problema de calentamiento global dos alternativas: 1) No continuar con el exceso de combustiones de productos con carbón fósil y 2) Disminuir el exceso de CO<sub>2</sub> en la atmósfera con la mayor rapidez posible para restituir el equilibrio perdido, en ese sentido *F. benjamina*

es una especie que en este estudio demostró su capacidad de fijación de  $\text{CO}_2$  en un ambiente rico en este gas de efecto invernadero, y además tiene más beneficios como: proveer sombra, ser una barrera para polvo y ruido y por supuesto el aspecto lúdico y ornamental asimismo el Reglamento de Parques, Jardines y Recursos Forestales para el Municipio de Guadalajara (2000) señala que para franjas de tierra de 1.20 a 2 m de ancho por 2.40 m de largo como mínimo, son adecuadas además las especies como el *F. benjamina*, en este estudio encontramos a individuos de la especie en espacios de camellón, parque y jardines así como en banquetas (Figura 11).



Figura 11. Árbol de *Ficus benjamina* en la ZMG.

Por otro lado, aunque especies como el *F. benjamina* tienen la capacidad de fijar el  $\text{CO}_2$  para llevar a cabo la fotosíntesis, otros gases de tipo

invernadero -como el dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre- pueden llegar a causar daños a plantas y cosechas (Molina y Molina, 2005) sin embargo existen plantas que pueden afrontar el problema de la contaminación en ambientes urbanos y si bien la evaluación del estrés no fue objetivo de este trabajo podemos decir que esta especie ha demostrado poder desarrollarse en un ambiente con mayor grado de contaminación en la ZMG.

Es importante mencionar que se pueden dar alternativas con el estudio específico de capacidad de captación de CO<sub>2</sub> de las especies empleadas para reforestar espacios urbanos con el fin de proporcionar elementos para prevenir los efectos de la contaminación, esto permitirá implementar estrategias de selección de especies para contribuir al éxito de programas para mejorar la calidad del aire en las grandes ciudades.

## CONCLUSIONES

1. La respuesta al incremento del CO<sub>2</sub> ambiental en espacios urbanos se relaciona con la adaptación fisiológica de *Ficus benjamina* que implica la capacidad de fijar este gas de efecto invernadero y desarrollarse con éxito en la ZMG.
2. La concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> es mayor en zonas con mayor afluencia vehicular (área contaminada) en comparación con espacios considerados como no contaminados en la Zona Metropolitana de Guadalajara.
3. El incremento en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> en la Zona Metropolitana de Guadalajara, favorece la fijación CO<sub>2</sub> por la especie *Ficus benjamina* L. siendo más eficiente la fijación en un ambiente con mayor concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, sin embargo es importante señalar que el riego regular influye en la forma de enfrentar el estrés por contaminación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abouzari, A., S. Rouhi, A. Eslami and B. Kaviani. 2012. Comparison of the effect of different soilless growing media on some growth characteristics of benjamin tree (*Ficus benjamina*). *Int. J. Agric. Biol.*, 14: 985–988.
- Agbaire, P.O. and E. Esiefarienrhe. 2009. Air pollution tolerance indices (apti) of some plants around Otorogun gas plant in Delta State, Nigeria. *J Appl Sci Environ Manage*, 13(1): 11-14.
- Alcalá J., M. Sosa, M. Moreno, C. Quintana, G. Quintana, S. Miranda y A. Rubio. 2008. Metales pesados en vegetación arbórea como indicador de la calidad ambiental urbana: ciudad de Chihuahua, México. *Multequina* 17: 39-54.
- Alig R. and L. S. Bair. 2006. Forest environmental investments and implications for climate change mitigation. *Journal of Environmental Quality* 35:1389–1395.
- Allen (Jnr), L.H; Boote, K.L. Jones, J.W; Valle, R.R; Acock, B; Roger, H.H; Dahlmau, R.C. 1987. Response of vegetation to rising carbon dioxide photosynthesis, biomass and seed yield of soybeans. *Global Biogeochem Cycle* 1; 1-44.
- Baumert K. and J. Pershing. 2004. *Climate data: insights and observations*. World Resources Institute, USA, 42 p.
- Becket K. P. 2000. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed, *Global change biology*, 6:995-1003.
- Botkin D. B. and E. A. Keller. 2000. *Environmental Science: Earth as a Living Planet*. Wiley & Sons, Inc. New York. 649 p.

Brady, N.C. and R.R. Weil. 2004. Elements of the Nature and Properties of Soils, 2/E. Ed. Pearson Prentice Hall, N.J.

Brintnall S., B. y M. Conner O. 2000. Economic Botany. Plants in our world. McGraw-Hill, Inc. New York. 742 p.

Chiras, D. 2001. Environmental Science, Creating a Sustainable Future. 6° ed. University of Denver, Jones and Bartlett Publishers, Susbury, Ma. 730 p. Desarrollo. Impreso en México. 17 - 38 pp.

Compendio Forestal. 2008.

<http://www.cabi.org.wdg.biblio.udg.mx:2048/fc/Default.aspx?site=163&page=2549&sort=ex+desc&fromab=&LoadModule=CABISearchResults&profile=13&tab=3&start=10&query=figus+benjamina+fecha de consulta 2 de marzo 2013>.

Donovan, R. G., H. Stewart, S. Owen, A. R. Mackenzie, and C. Nicholashewitt. 2005. Development and application of an urban tree air quality score for photochemical pollution episodes using the birmingham, united kingdom, area as a case study. Environmental Science & Technology 39(17): 6730-6738.

Drake B. G., M. A. González-Meler and S. P. Long. 1996. MORE EFFICIENT PLANTS: A Consequence of Rising Atmospheric CO<sub>2</sub> Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 48:609–39.

Informe Técnico. Estudios Técnicos Justificativos para declarar Área Natural Protegida el Bosque los Colomos. Guadalajara, Jalisco, México. 2006.

Jarma O., A., C. Cardona A. y H. Araméndiz T. 2012. Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 15 (1): 63 – 76.

Klumpp A., Domingos M., and Pignata M.L. 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.

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.

Miquel, A. 2001. Control climático y ciclo de cultivo. Copyright Ediciones de Horticultura, 152: 1-7.

Nowak, D.J., J.F. Dwyer y G. Childs. 1997. Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. En: Krishnamurthy L. y J. Rente Nascimento, (Eds.). Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe. Banco Interamericano de y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo. Impreso en México. 17 - 38 pp.

NRDC (Natural Resources Defense Council). 2008. La onda verde; Datos principales sobre el calentamiento global. <http://www.nrdc.org/laondaverde/globa>.

Rai, A., K. Kulshreshtha, P.K. Srivastava, and C.S. Mohanty. 2009. Leaf surface structure alterations due to particulate pollution in some common plants. Environmentalist, 30: 18-23.

Reglamento de Parques, Jardines y Recursos Forestales para el Municipio de Guadalajara. 2000. Consulta 27 de febrero 2013. <http://ordenjuridicodemo.segob.gob.mx/Estatal/JALISCO/Municipios/Guadalajara/GDLReg62.pdf>

Secretaría de la Convención sobre el Cambio Climático. 2004. Cambio Climático: Carpeta de Información. PNUMA y la UNFCCC, Suiza. 65 p.

SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología. 1999. Inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México,

Seyyednejad S. M. and H. Koochak. 2011. A study on air pollution effects on *Eucalyptus camaldulensis*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(3): 601-606.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood y D. Wratt. 2007. Technical Summary. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge y New York: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller ed. Pp. 25.

Soto, L., J. Jasso, J. Vargas, H. González, y V. Cetina. 2006. Efecto de diferentes dosis de AIB sobre el enraizamiento de *Ficus benjamina* L. en diferentes épocas del año. Ra Ximhai., 12:795-814.

Smith, R.L. y Smith, T. M. 2000. Ecología (4ª Edición). Addison Wesley. Madrid. 664 p.

Stern N. 2006. What is the Economics of Climate Change? World Economics 7(2): 1-10.

Tiwari, S., M. Agrawal and F.M. Marshall. 2006. Evaluation of ambient air pollution impact on carrot plants at a sub urban site using open top chambers. *Environmental Monitoring and Assessment* 119: 15-30.

Toro G., Maria Victoria, Lázaro V. Cremades O., John Jairo Ramirez B. 2001. INVENTARIO DE EMISIONES BIOGENICAS EN EL VALLE DE ABURRÁ. *Revista Ingeniería y Gestión Ambiental*. Universidad Pontificia Bolivariana. Vol. 17, No. 32-33.

UNESA. 2005. Forestación y Reforestación. Sumideros de Carbono. En: *Metodologías para la Implementación de los Mecanismos flexibles de Kioto – Mecanismo de Desarrollo Limpio en Latinoamérica*. Rivero Torre, Pedro, León, Gonzalo, Eichhamer, Wolfgang, Deputy, Gázquez Mateos, José Luis, González Santaló, José Miguel, Ferrando Bravo, Gerardo, Cisneros Gárate, Pablo, Pérez Pallarés, Diego. Capítulo 8.

Vogel M., E. y E. R. Rivas R. 1999. Contaminación, contaminantes y ambiente. En: *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*, Enkerlin E. C., G. Cano, R. A. Garza y E. Vogel. Thomson Editores, México D.F. pp. 371- 400.

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

Ziska, L. H., K. P. Hogan, A. P. Smith and B. G. Drake. 1991. Growth and photosynthetic response of nine tropical species with long-term exposure to elevated carbon dioxide. *Oecologia* 86 : 383-389.

**TESIS/CUCBA**