



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS

**CUANTIFICACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO EN CUATRO
ESPECIES VEGETALES DE ZONAS ÁRIDAS CON UN MÉTODO
DIRECTO NO DESTRUCTIVO**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

***MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y
MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS***



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

JANETH CORCHADO MÁRQUEZ

Bermejillo, Dgo., Mayo 2015



El presente trabajo de tesis titulado: "CUANTIFICACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO EN CUATRO ESPECIES VEGETALES DE ZONAS ÁRIDAS CON UN MÉTODO DIRECTO NO DESTRUCTIVO", fue dirigido por el Dr. Ricardo Trejo Calzada y asesorado por el Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca, el Dr. Aurelio Pedroza Sandoval y el Dr. Jesús G. Arreola Ávila. Ha sido revisado y aprobado por el Comité Asesor como requisito parcial para obtener el Grado de:

**Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y
Medio Ambiente en Zonas Áridas**

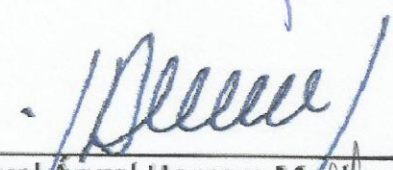
COMITÉ ASESOR

DIRECTOR:



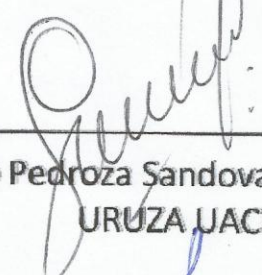
Dr. Ricardo Trejo Calzada
URUZA-UACH

CODIRECTOR:



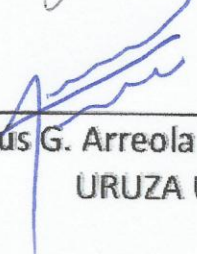
Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca
Universidad de Córdoba, España

ASESOR:



Dr. Aurelio Pedroza Sandoval
URUZA UACH

ASESOR:



Dr. Jesús G. Arreola Ávila
URUZA UACH

Cuantificación de captura de carbono en cuatro especies vegetales de zonas áridas

Quantification of carbon sequestration in four plant species in arid zones

Corchado-Márquez Janeth¹, Trejo-Calzada Ricardo²

RESUMEN

Las zonas áridas en el mundo cubren una superficie aproximada del 41%. Aun cuando la cubierta vegetal en estas zonas suele ser escasa, la extensión que cubren puede contribuir de manera significativa a la captura de CO₂. Se han llevado a cabo diversos estudios sobre la captura de carbono de plantas de zonas áridas. Sin embargo, los métodos empleados tienen algunas limitantes como es costo de equipos o la destrucción de ejemplares vivos. No se han encontrado estudios en los que se emplee la tasa fotosintética y el índice de área foliar para estimar la captura de carbono en plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar el uso de la tasa fotosintética y el índice de área foliar para cuantificar la captura de carbono en cuatro especies vegetales de zonas áridas en México: gobernadora (*Larrea tridentata* (D.C.) Coville), huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd), mezquite (*Prosopis glandulosa*) y orégano (*Lippia graveolens* Kunth). Este estudio se realizó dentro de la zona del Bolsón de Mapimi (Durango, México). con un muestreo en cuadrantes de 10m x 10m. Se midió la fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) con un sistema portátil de fotosíntesis (LI-COR 6400) en hojas jóvenes completas ubicadas en los cuatro puntos cardinales. El Índice de Área Foliar (IAF) se midió con un equipo LICOR LAI 2200. Las mediciones se llevaron a cabo en tres fechas: agosto, octubre y noviembre de 2013. La tasa fotosintética fue significativamente diferente entre especies y estuvo en los rangos de 5.90 a 11.84 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en *L. tridentata*, 5.21 a 11.73 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en *A. farnesiana*, 8.53 a 10.41 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en *P. glandulosa* y 10.41 a 13.49 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en *L. graveolens* dependiendo de la fecha de medición. El IAF en cada una de las especies cambió a través del tiempo y en general *A. farnesiana* y *P. glandulosa* presentaron los valores más altos (1.55 y 1.33, respectivamente). La mayor tasa de captura de carbono estimada fue mayor en *P. glandulosa* (470.05 a 661.38 g CO₂ día⁻¹) y *A. farnesiana* (377.62 a 1019.27 g CO₂ día⁻¹), comparada con la de *L. tridentata* y *L. graveolens*.

Palabras clave: Zonas áridas, Cambio climático, Captura de CO₂, *Larrea tridentata*, *Acacia farnesiana*, *Prosopis glandulosa* y *Lippia graveolens*.

ABSTRACT

Arid areas include around 41% of the world surface. Even though vegetation in those areas is scarce, the extensive surface they cover may significantly increase CO₂ sequestration. Several studies have been carried out about CO₂ capture by plants from arid lands. However, the applied methods have some limitations, such as cost of equipment or destruction of live specimens. There are no reports of research on using photosynthetic rate and leaf area index to estimate carbon sequestration in plants. The aim of this study was to evaluate the use of photosynthetic rate and leaf area index to quantify carbon sequestration in four plant species of arid zones in Mexico: gobernadora (*Larrea tridentata* (D.C.) Coville), huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd), mezquite (*Prosopis glandulosa*) y orégano (*Lippia graveolens* Kunth). This study was performed within the Mapimí Bolson (Durango, México). Quadrants of 10m x 10m were used for sampling. . Photosynthesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) was measured using a portable photosynthesis system (LI-COR 6400). Young and complete leaves located on the four cardinal points of each individual plant into the quadrants were measured. Leaf area index (LAI) was measured with a leaf canopy analyzer (LICOR LAI 2200). The measurements were carried out on three dates: August, October and November 2013. Photosynthesis rate was significantly different among species and was into the ranges of: 5.90-11.84 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for *L. tridentata*, 5.21-11.73 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for *A. farnesiana*, 8.53-10.41 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for *P. glandulosa* y 10.41-13.49 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en *L. graveolens* regarding date of measurement. LAI changed along time and *A. farnesiana* y *P. glandulosa* showed the greater values (1.55 y 1.33, respectively). The greater rate of carbón sequestration estimated was found in *P. glandulosa* (470.05 a 661.38 g CO₂ day⁻¹) and *A. farnesiana* (377.62 a 1019.27 g CO₂ day⁻¹) as compared to that of *L. tridentata* y *L. graveolens*.

Keywords: arid zones, climate change, CO₂ capture, *Larrea tridentata*, *Acacia farnesiana*, *Prosopis glandulosa* and *Lippia graveolens*.

¹Tesista

²Director

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por todo el gran apoyo brindado para la realización del posgrado.

A las Autoridades de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo proporcionado para la continuación del programa.

Al Dr. Ricardo Trejo Calzada por ofrecerme siempre sus valiosos conocimientos, apoyo, ayuda, dedicación, tiempo y confianza para mi formación durante estos años, y por alentarme siempre en cada una de las fases de la investigación.

Al Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca, Dr. Aurelio Pedroza Sandoval y Dr. Jesus G. Arreola Ávila, por sus valiosas sugerencias aportadas y su colaboración.

A todas y cada una de las personas que me han acompañado y facilitado su apoyo, consejo y ánimo a lo largo del posgrado.

DEDICATORIA

A Dios por guiarme y acompañarme en toda mi vida, por darme la bendición de poder realizarme profesionalmente en lo que más me apasiona la investigación, y llenar mis días de aprendizajes, experiencias y felicidad.

Muy en especial a mi Amada Familia:

- Mi Papá Juan Antonio Corchado
- Mis Mamás Margarita Márquez y Margarita Ávila
- Mis hermanas Jessica, Cristela, Mariana, Erika y hermano Salvador
- Mis sobrinos Nicole, Antonio, Itzel, María José y Bebe que viene en camino.

A todos ustedes gracias por su gran amor, apoyo incondicional, confianza, por siempre estar a mi lado a pesar de las distancias y el tiempo, por enseñarme que los sueños se hacen realidad con tenacidad, esfuerzo y perseverancia, por enseñarme siempre a seguir adelante a pesar de todo, por todos y cada uno de los momentos que hemos pasados juntos los cuales llevo por siempre en mi corazón. Son mi mayor motor en mi vida y lo son todo para mí. LOS AMO Y LOS AMARE POR SIEMPRE CON TODO MI CORAZÓN.

A mis maestros y amigos por su gran apoyo, su valioso tiempo, sus grandes conocimientos transmitidos, así mismo gracias por su valiosa amistad y su gran cariño.

DATOS BIOGRÁFICOS

El presente trabajo fue realizado por Janeth Corchado Márquez, Químico Farmacéutico Biólogo, título obtenido en la Facultad en Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, generación 2006-2011.

Los estudios de Posgrado los realizó en el Programa en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas en URUZA-UACH, generación 2013-2014.

Durante la realización del Programa de Posgrado participó en el intercambio internacional para realizar la doble titulación en la Universidad de Córdoba, en España. Concluyendo los estudios exitosamente. Obteniendo el título de Máster en Cambio Global: Recursos Naturales y Sostenibilidad

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	iii
CONTENIDO	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	viii
SIGLAS	ix
I.INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO.....	6
1.2 HIPÓTESIS.....	6
II. REVISION DE LITERATURA	7
2.1 CAMBIO CLIMÁTICO.....	7
2.1.1 Causas del cambio climático	7
2.1.1.1 Influencias externas	7
2.1.1.2 Influencias internas	9
2.1.2 Efecto invernadero: una de las mayores causas del cambio climático.....	11
2.1.2.1 Principales gases del efecto invernadero	12
2.1.2.2 Aumento del CO ₂ una de las principales causas del cambio climático	14
2.1.3 Consecuencias del aumento del los gases de efecto invernadero	16
2.2 CICLO GLOBAL DEL CARBONO Y SUMIDEROS DE CO ₂	17
2.2.1 Sumideros de CO ₂	18
2.2.1.1 Océanos.....	19
2.2.1.2 Suelo.....	19

2.2.1.3 Plantas	20
2.3 ZONAS ÁRIDAS	21
2.3.1 Características ambientales de las zonas áridas	22
2.3.2 Características del suelo en zonas áridas.....	22
2.3.3 Paisaje.....	22
2.3.4 Flora y fauna.....	23
2.4 Especies vegetales de la Zona Árida Chihuahuense en México	24
2.4.1 Gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>)	25
2.4.2 Mezquite (<i>Prosopis glandulosa</i>).....	27
2.4.3 Orégano (<i>Lippia graveolens</i>)	28
2.4.4 Huizache (<i>Acacia farnesiana</i>)	30
2.5 MÉTODOS EMPLEADOS PARA MEDIR LA CAPTURA DE CARBONO EN ESPECIES VEGETALES DE ZONAS ÁRIDAS.....	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1 Tasa fotosintética e índice de clorofila	39
4.2 Tasa fotosintética	39
4.3 Factores con efecto en la fotosíntesis.....	40
4.4 Tasa fotosintética en las cuatro especies de estudio.....	42
4.5 Fotosíntesis y conductancia estomática	43
4.6 Transpiración y conductancia	44
4.7 Índice de área foliar, cobertura total, área foliar total y estimación de CO ₂ capturado en 12 horas	46
4.8 Curvas de respuesta a diferentes concentraciones de CO ₂	47
V. CONCLUSIONES	51

VI. LITERATURA CITADA.....	52
----------------------------	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Efecto invernadero	11
Figura 2.- Concentraciones atmosféricas de CO ₂ en Mauna Loa, Hawaii en el período de 1960 a 2010.	15
Figura 3.- Ciclo global del carbono	18
Figura 4.- Atlas mundial de la desertificación	21
Figura 5.- Zona Árida Chihuahuense	24
Figura 6.- <i>Larrea tridentata</i>	26
Figura 7.- <i>Prosopis grandulosa</i>	27
Figura 8.- <i>Lippia graveolens</i>	29
Figura 9.- <i>Acacia farnesiana</i>	31
Figura 10.- Tasa fotosintética de hojas de gobernadora por cada punto cardinal en el mes de agosto en las tres horas de muestreo (8:00,12:00 y 17:00).	40
Figura 11.- Tasa fotosintética y conductancia en cuatro especies nativas de zonas áridas en agosto.	43
Figura 12.- Tasa fotosintética y conductancia en cuatro especies nativas de zonas áridas octubre.	44
Figura 13. Tasa fotosintética y conductancia en cuatro especies nativas de zonas áridas noviembre.....	44
Figura 14.- Estimación de captura de CO ₂ en 12 horas de las cuatro especies en las tres fechas de muestreo.	47
Figura 15.- Curvas de respuesta a diferentes concentraciones de CO ₂ en <i>L. tridentata</i>	48
Figura 16.- Curvas de respuesta a diferentes concentraciones de CO ₂ en <i>A. farnesian.</i>	49
Figura 17.- Curvas de respuesta a diferentes concentraciones de CO ₂ en <i>P. glandulosa</i>	49
Figura 18.- Curvas de respuesta a diferentes concentraciones de CO ₂ en <i>L. graveolens.</i> ...	50
Figura 19.- Curvas de respuesta en la tasa fotosintética de las cuatro especies a diferentes concentraciones de CO ₂ en el mes de agosto.	50

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Ubicación geográfica de cuadrantes de muestreo y número de individuos en los que se llevaron a cabo mediciones.	35
Cuadro 2.- Nivel de probabilidad por factor de estudio en fotosíntesis en las tres fechas de estudio	41
Cuadro 3.- Tasa de fotosíntesis en cuatro especies nativas de zonas áridas y tres diferentes fechas del año durante el 2013	42
Cuadro 4.- Transpiración en cuatro especies nativas de zonas áridas y tres diferentes fechas del año durante el 2013	45
Cuadro 5.- Conductancia en cuatro especies nativas de zonas áridas y tres diferentes fechas del año durante el 2013	45
Cuadro 6.- Índice de área foliar, cobertura vegetal y área foliar estimada en diferentes especies de vegetación nativa de zonas áridas, en tres períodos de evaluación durante el 2013.	46

SIGLAS

AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
CBD	Convention on Biological Diversity
CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental
CITA	Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CSIC	Consejo Superior de Investigación Científica
EOL	Encyclopedia of Life
EPA	Environmental Protection Agency
FAO	Food and Agriculture Organization
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GMWDA	Greater Manchester Waste Disposal Authority
INBio	Instituto Nacional de Biodiversidad
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ITIS	Integrated Taxonomic Information System
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

I.INTRODUCCIÓN

El cambio climático se define como una alteración en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que ésta a su vez, se suma a la variabilidad natural del clima (IPCC, 2007^a).

El cambio climático global asociado al aumento potencial de la temperatura superficial del planeta, es uno de los problemas ambientales más severos que se enfrentan en el presente siglo. Este problema se acentúa por el rápido incremento actual en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) siendo los principales el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. Otro importante factor, son las dificultades de reducir en forma sustantiva el incremento de estos gases (Ordoñez y Masera, 2001; OMM, 2009).

La preocupación mundial por mitigar el efecto de los GEI ha dado lugar a una política internacional dirigida a entender los procesos de generación y absorción de los mismos. Esto ha permitido reconocer la importancia de los ecosistemas terrestres y, en particular, el papel que tiene la vegetación para captar el dióxido de carbono atmosférico por medio de la fotosíntesis. Durante este proceso, la masa vegetal captura y retiene un valor creciente de carbono, que es consecuentemente retirado del ambiente, permitiendo de esta forma reducir la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, mitigando, en el largo plazo, el cambio climático. Los ecosistemas de la tierra tienen una cobertura vegetal variable y extensiones variables por lo que su contribución a la captura de carbono puede ser significativamente diferente. (García y Fernández, 2006; Ordoñez, 2008).

Las zonas áridas corresponden a extensas regiones en diferentes partes del planeta y con una riqueza en biodiversidad que puede contribuir a mitigar el problema de los GEI. Dichas regiones corresponden a áreas con precipitación pluvial anual es menor a 400 mm, con una temperatura media de 15° a 25°C, con una presencia de sequía de 7 a 12 meses al año, y que contienen una cubierta vegetal menor del 70% dominada principalmente por especies xerófitas. Sin embargo, la característica más común de estas regiones es

tener un déficit hídrico por falta de lluvia (Tarango, 2005; Maldonado, 2012; González, 2012).

Estas eco-regiones constituyen ecosistemas muy extensos (30% al 41% de la superficie mundial) y absorben significativas cantidades del dióxido de carbono emitido a la atmósfera, lo que ayuda a combatir el cambio climático (Evans *et al.*, 2014, Naumburg *et al.*, 2003; CONAFOR, 2010; FAO, 2011).

En la República Mexicana, las regiones áridas ocupan aproximadamente el 40% de la superficie, puesto que cubren la mayor parte del territorio nacional, localizadas principalmente en los estados de Baja California, Sonora, abarcan la casi totalidad del estado de Coahuila, Durango, Chihuahua y Nuevo León, una parte de Tamaulipas, la mayor parte de los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, la región noreste de Guanajuato, Aguascalientes y gran parte de Querétaro, así como los estados de Hidalgo, Puebla y una pequeña porción de Oaxaca (CONAFOR, 2010; Maldonado, 2012).

Se han realizado diversos estudios para tratar de estimar la captura de carbono en estas regiones, sin embargo aún no hay información suficiente que permita identificar de manera expedita, económica y ambientalmente, la contribución de los ecosistemas de zonas áridas a la captura de carbono.

Las especies vegetales anuales de las zonas áridas cuentan con mecanismos biológicos, que al percibir los rigores de una sequía, inmediatamente aceleran su maduración para prolongar la existencia de la especie. Asimismo, las poblaciones vegetales de zonas áridas son importantes desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad, puesto que albergan especies únicas y endémicas particularmente bien adaptadas a condiciones ecológicas extremas (FAO, 2010; Maldonado, 2012). La respuesta que tienen las plantas de las regiones áridas a condiciones extremas es una clave para entender las respuestas de los ecosistemas del desierto con el cambio climático (Liu *et al.*, 2012).

Es difícil establecer con precisión los límites de los parámetros ambientales que definan las condiciones desfavorables en las plantas, puesto que esto varía de una especie a otra.

En general, si las plantas no presentan limitaciones por otros factores, responden incrementando la fotosíntesis a medida que la concentración de CO₂ aumenta. Estos incrementos de la fotosíntesis no son idénticos en todas las plantas, sino que varían según la fisiología de cada una de ellas (Azcón y Talón, 2008)

La fotosíntesis es uno de los procesos más importantes que permiten la vida en el planeta, al mismo tiempo tiene un importante papel en el secuestro del total de CO₂ del medio ambiente. Las plantas realizan este proceso de transformación de la materia inorgánica en materia orgánica por medio de la energía que aporta la luz. Este proceso ocurre en los cloroplastos, que son orgánulos presentes en las hojas, en algas o en tallos verdes. El resultado del proceso de la fotosíntesis lleva a la fijación del carbono producto de la reducción química del dióxido de carbono captado de la atmósfera y a la producción de oxígeno (Gordillo *et al.*, 2008; Reddy *et al.*, 2010). La cantidad de CO₂ asimilada por la hoja por unidad de tiempo y superficie de la hoja se define como la tasa fotosintética (Quero *et al.*, 2004).

En varias plantas del desierto se han realizado estudios acerca de su actividad fotosintética. Liu *et al.* (2012) Utilizaron un sistema de evaluación de la fotosíntesis portátil para medir las respuestas del curso diurno de la fotosíntesis de dos arbustos del desierto del noroeste de China, estos arbustos fueron: *Nitraria sphaerocarpa maxim* y *Calligonum mongolicum turcz*, sus valores de tasa máxima de fotosíntesis neta fueron: 23.27 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para *Nitraria sphaerocarpa maxim* y 32.92 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para *Calligonum mongolicum turcz*. Carmona *et al.* (2007) por medio del sistema Analizador de Gases Infrarrojo (IRGA modelo LI-COR 6400) midieron la fotosíntesis de plantas de Mesquite (*Prosopis glandulosa*) obteniendo como resultado un valor de 16.0215 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Landeros *et al.* (2011) cuantificaron la tasa de fotosíntesis de plantas de Huizache (*Acacia farnesiana*) obteniendo una media general de 17.06 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Naumburg *et al.* (2003^b) midieron la tasa fotosintética de la Gobernadora (*Larrea tridentata*) obteniendo un valor de 200 $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. La medición de la tasa fotosintética se puede emplear para la estimación de la captura de carbono.

Otros investigadores han empleado diferentes métodos para estimar la captura de carbono. Maicelo (2012) por método destructivo estimó la cantidad de carbono en la biomasa de 15 ejemplares de la especie *Ceroxylon peruvianum* de la cuenca Media del Rio Utcubamba Amazonas en Perú. A través de la biomasa cuantificó la concentración de carbono total en el tejido vegetal de la planta *Ceroxylon peruvianum* obteniendo 98.07kg de carbono.

Becerril *et al.* (2014) determinaron el contenido de carbono en la biomasa aérea en especies vegetales de mezquite (*Prosopis laevigata*), huizache (*Acacia farnesiana*) y herbáceas. Seleccionaron y muestrearon por método destructivo cinco individuos de cada especie para estimar biomasa seca total y por componente (hojas, ramas y fuste). Mediante información satelital estimaron la distribución espacial del contenido de carbono en la Cuenca Dolores Hidalgo (Guanajuato). La cobertura vegetal del área de estudio se clasificó en tres tipos: abierta, semiabierta y cerrada. Los resultados que se obtuvieron en el estudio fueron que el contenido de carbono en la cobertura abierta fue de 2.4 Mg C ha⁻¹, semiabierta 10.26 Mg C ha⁻¹ y cerrada de 21.20 Mg C ha⁻¹.

Zermeño *et al.* (2011) por medio del método de la covarianza de Eddy evaluaron la tasa de asimilación de CO₂ en un pastizal natural del norte de México. La tasa de asimilación de CO₂ del pastizal fue hasta 18 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$. La retención promedio diaria de CO₂ por el pastizal (diferencia entre la asimilación durante el día y liberación durante la noche) fue 123.081 mmol m², que correspondió a un promedio diario de 54.12 kg ha⁻¹.

Méndez *et al.* (2011) ajustaron ecuaciones alométricas para cuantificar la acumulación de carbono (C) y carbono equivalente (CO₂e) en una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Jerécuaro, estado de Guanajuato, México. Mediante análisis troncales y el modelo de Schumacher se obtuvo la tasa de incremento anual de carbono (C) y carbono equivalente (CO₂e). Se seleccionaron 40 árboles (20 por especie) sin deformidades, representativos de las categorías de diámetro y altura, considerando los estratos dominantes y co-dominantes, y se midió el diámetro normal (D) y altura total (H). Los árboles fueron derribados, troceados y separados en los

componentes: hojas y ramas y fuste, cada componente se obtuvieron submuestras que fueron secadas en el laboratorio para medir peso seco y la biomasa total del árbol. La biomasa de cada componente se multiplicó por el factor 0.50 y se transformó a contenido de carbono; este factor corresponde a la fracción de carbono (%) en la biomasa seca de la madera. El CO₂e fijado en la biomasa seca se obtuvo con el producto del peso seco y el coeficiente resultante de la relación entre el peso de la molécula de CO₂ y el peso del átomo de carbono. Los valores calculados fueron 19.68 t C ha⁻¹y 72.02 t CO₂e ha⁻¹, después de 12 años de establecida la plantación.

Se han llevado a cabo diversos estudios sobre la captura de carbono en plantas de zonas áridas. Sin embargo, los métodos empleados tienen algunas limitantes como el costo de equipos o la destrucción de ejemplares vivos y la alteración del ecosistema. No se han encontrado estudios en los que se emplee la tasa fotosintética y el índice de área foliar para estimar la captura de carbono en plantas.

1.1 OBJETIVO

Evaluar el uso de la tasa fotosintética y el índice de área foliar para cuantificar la captura de carbono en cuatro especies vegetales de zonas áridas en México: Gobernadora (*Larrea tridentata* (D.C.) Coville), Huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd), Mezquite (*Prosopis glandulosa*), y Orégano (*Lippia graveolens* Kunth). Contribuir al conocimiento sobre la captura de carbono en diferentes especies vegetales de zonas áridas, que mitigue el efecto de los GEI en la atmosfera.

1.2 HIPÓTESIS

Las especies arbóreas mezquite (*Prosopis glandulosa*) y huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd) poseen una mayor capacidad de captura de carbono que las especies arbustivas gobernadora (*Larrea tridentata* (D.C.) Coville) y orégano (*Lippia graveolens* Kunth).

Es factible emplear un método directo no destructivo y relativamente rápido para la estimación de la captura de carbono en ecosistemas de zonas áridas.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático se define como una alteración en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que éste a su vez se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (IPCC, 2007^a).

El cambio climático es algo consustancial al planeta Tierra que, a lo largo de sus miles de millones de años de historia ha experimentado cambios. Muchos de los cambios más importante en la atmósfera han estado forzados por organismos, como fue el paso de una atmósfera pobre en oxígeno y con alta irradiación ultravioleta a una atmósfera con un 21% de oxígeno y una capa de ozono que filtra los rayos ultravioleta, consecuencia del desarrollo de la fotosíntesis en bacterias (Duarte, 2006).

2.1.1 Causas del cambio climático

Las causas del cambio climático dependen de influencias internas e influencias externas. Las influencias externas producen cambios en largos periodos de tiempo, por lo que son lentos y solo se aprecian en periodos muy largos (100 000 años). En los últimos siglos, no se ha detectado ningún cambio provocado por dichos factores. Sin embargo, los influencias internas si han cambiado significativamente en los últimos siglos, por lo que los científicos han llegado a la conclusión de que esos cambios han sido provocados por los seres humanos (origen antropológico del cambio climático), como consecuencia del desarrollo insostenible que ha tenido lugar en dicho periodo (Ernst, 2002; Gutiérrez y Gutiérrez, 2009; GMWDA, 2009).

2.1.1.1 Influencias externas

Influencias externas son procesos y fenómenos externos que determinan desequilibrios en el sistema climático y están relacionados fundamentalmente con la dinámica del sol, variaciones orbitales, y con impactos a la Tierra de cuerpos celestes de gran tamaño (Permia y Fornés, 2008; GMWDA, 2009).

- Dinámica del sol

El sol es una estrella notablemente constante. Mientras que algunas estrellas experimentan dramáticas pulsaciones, y como consecuencia varían mucho en tamaño y brillo, e incluso explotan ocasionalmente, la luminosidad de nuestro sol varía apenas un 0.1% a lo largo de su ciclo solar de 11 años (NASA, 2013).

La variabilidad solar está produciendo un efecto sobre el clima, en particular en el pacífico. Las regiones del pacífico ecuatorial oriental pueden enfriarse hasta un 1°C. Además, hay indicios de incrementos de precipitación en la zona inter-tropical de convergencia del pacífico y en la zona de convergencia del pacífico sur, así como de presiones a nivel del mar que están por encima de lo normal en latitudes intermedias del pacífico norte y sur, las cuales se correlacionan con los picos del ciclo de manchas solares. El pacífico ecuatorial central generalmente se torna más frío, la escorrentía de ríos en Perú se ve reducida y las condiciones en el oeste de Estados Unidos se vuelven más secas (NASA, 2013).

- Variaciones orbitales

La órbita terrestre oscila periódicamente, haciendo que la cantidad media de radiación que recibe cada hemisferio fluctúe a lo largo del tiempo, y estas variaciones provocan las pulsaciones glaciares a modo de veranos e inviernos de largo periodo. Son los llamados periodos glaciales e interglaciares. Hay tres factores que contribuyen a modificar las características orbitales haciendo que la insolación media en uno y otro hemisferio varíe aunque no lo haga el flujo de radiación global: la precesión de los equinoccios, la excentricidad orbital y la oblicuidad de la órbita o inclinación del eje terrestre (Alfaro *et al.*, 2014).

- Impacto de cuerpos celestes

Los impactos de asteroides y cometas han jugado un papel importante en la historia geológica y biológica de la tierra. Es ampliamente aceptado que uno de esos eventos, hace 65 millones de años, produjo una extinción biológica importante. En este tipo de catástrofes, las partículas y los gases generados durante el evento del impacto se expulsan fuera de la atmosfera terrestre y se dispersan por todo el mundo. Varias

consecuencias ambientales potencialmente devastadoras podrían ser el resultado de la re-entrada de estos gases y las partículas. La radiación térmica generada durante el reingreso de las partículas puede ser lo suficientemente fuerte como para encender los incendios forestales en grandes áreas del planeta. La carga de polvo en la atmósfera puede bloquear la luz y limitar la fotosíntesis durante meses después del impacto. Asimismo, la presencia de rocas carbonatadas o anhidrita puede añadir consecuencias ambientales adicionales puesto que estos compuestos pueden producir aerosoles que reducen aún más la cantidad de luz que alcanza la superficie de la tierra, se condensan con agua para formar la lluvia ácida, reaccionan con el ozono y agotan los niveles del mismo, y causan el efecto invernadero (Collins *et al.*, 2005)

Las influencias externas pueden explicar solo una pequeña parte de cambio climático. La inmensa mayoría de los científicos coinciden en que se debe a las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero, que retienen el calor en la atmósfera como consecuencia de las actividades humanas. Estos cambios climáticos son consecuencia de la alteración del balance energético de la tierra. La cantidad de radiación solar absorbida por el sistema terrestre es igual a la cantidad de radiación solar que la tierra refleja. Pero este balance, en la actualidad, no es un balance neto, es decir, la radiación solar que emite la tierra no es igual que la que recibe. La cantidad de radiación emitida es menor que la absorbida. Esto ocasiona la aparición del conocido efecto invernadero (Target *et al.*, 2014).

2.1.1.2 Influencias internas

Influencias internas son procesos y fenómenos que pueden ocurrir por la dinámica interna del sistema climático sin la influencia de causas externas, estos pueden ser la deriva continental, la composición atmosférica, las corrientes oceánicas, los efectos antropogénicos y el efecto invernadero (Barros *et al.*, 2006).

- **Deriva continental**

La Deriva Continental de ese súper continente Pangea, comenzó hace aproximadamente 230 millones de años, iniciando un proceso de fragmentación que derivó en placas

continentales que se desplazaban unas con respecto a otras, hasta llegar a la disposición actual de los continentes y masa oceánicas. La deriva continental es un proceso sumamente lento, por lo que la posición de los continentes fija el comportamiento del clima durante millones de años (Pérez *et al.*, 2006; INPRES, 2012).

- Composición atmosférica

Además de los cambios en la adición y eliminación de gases de la atmósfera (fuentes y sumideros), las interacciones entre los gases y otros elementos del sistema de la tierra también influyen en la composición atmosférica. A menudo se distingue entre los controles a corto y largo plazo en la composición de la atmósfera. Las variaciones a corto plazo de la composición de la atmósfera se atribuyen a factores como la productividad biológica y de las emisiones antropogénicas. Cambios a largo plazo en la composición atmosférica se han atribuido a los factores geológicos que cambian sumideros intemperización y fuentes volcánicas, eventos evolutivos tales como la evolución de la fotosíntesis oxigénica y de la colonización de la tierra por las plantas, además de los cambios en la radiación solar a través del tiempo (Gornitz, 2009).

- Corrientes oceánicas

Son corrientes marinas que circulan como consecuencia de la diferente temperatura y densidad de las aguas oceánicas y constituyen una gran cinta transportadora de calor, que contribuye a regular los climas para que no sean tan extremos. El circuito de las corrientes termohalinas tarda en recorrerse unos mil años. Si la corriente cálida procedente del Ecuador no llegase al norte del Atlántico, descendería la temperatura en los países del norte de Europa. Al aumentar la temperatura media de la tierra, dichas corrientes se alterarían, modificando aun más el clima de la tierra (Ramírez, 2006; Gutiérrez y Gutiérrez, 2009).

- Efectos antropogénicos

Los efectos antropogénicos están dominados por la influencia humana, que ahora son lo suficientemente grandes como para superar los límites de la variabilidad natural. La principal fuente de cambio climático global son los cambios inducidos por el hombre en la composición atmosférica. Estas perturbaciones resultan principalmente de las emisiones

asociadas al consumo de energía a escala local y regional, el uso del suelo, urbanización y la deforestación de los bosques (Karl y Trenberth; 2003).

La mayoría de los científicos del clima están de acuerdo en la causa principal de la actual tendencia al calentamiento global que es la expansión humana del "efecto invernadero" (IPCC, 2007^b)

2.1.2 Efecto invernadero: una de las mayores causas del cambio climático

El efecto invernadero es un proceso natural de calentamiento global en el cual algunos gases presentes en la atmósfera actúan como una capa transparente a las radiaciones solares de onda corta, permitiendo su entrada a la superficie terrestre pero opaca a las radiaciones térmicas de onda larga emanadas de la superficie terrestre, evitando que estas escapen al espacio exterior. A causa del efecto invernadero natural, la superficie terrestre se calentó lo suficiente para permitir el origen y el mantenimiento de la vida en el planeta. Sin embargo, de seguir aumentando la concentración de los gases de invernadero en la atmósfera, la superficie terrestre sufrirá un calentamiento adicional (González *et al.*, 2003; GREENPEACE, 2010).

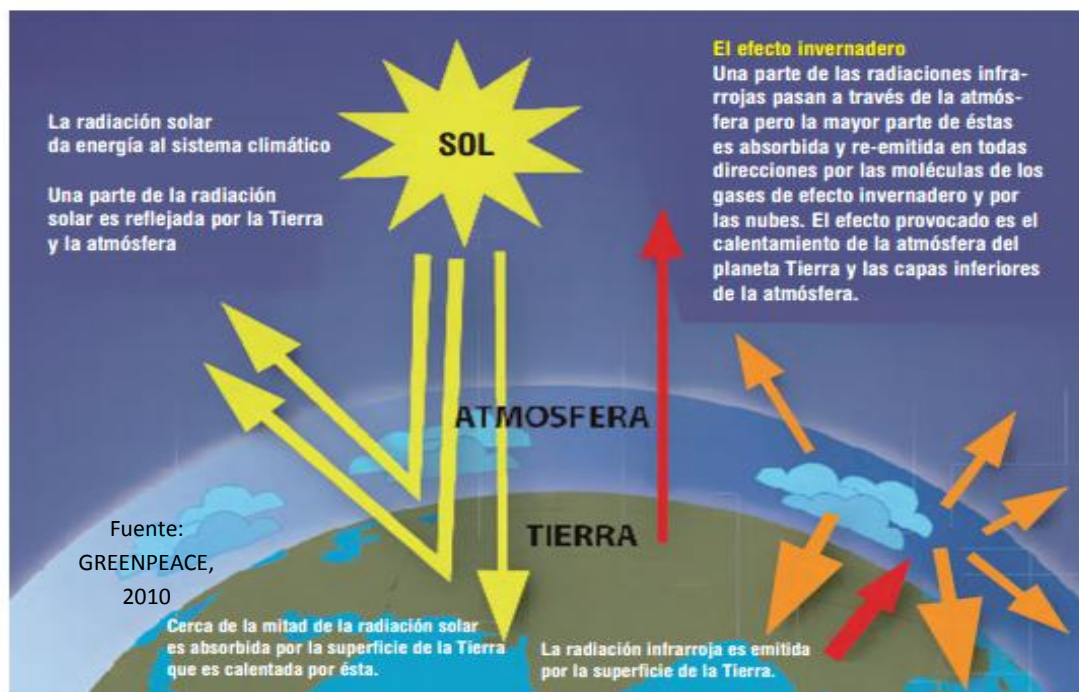


Figura 1.- Efecto invernadero

Las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero han aumentado desde tiempos preindustriales debido a actividades humanas, sobre todo por la utilización de combustibles fósiles y los cambios en el uso y en la cubierta de los suelos. Estos factores, junto a las fuerzas naturales, han contribuido a los cambios en el clima de la Tierra a lo largo de todo el siglo XX, entre otros: ha subido la temperatura de la superficie terrestre y marina, han cambiado los patrones espaciales y temporales de las precipitaciones; se ha elevado el nivel del mar, y ha aumentado la frecuencia e intensidad de los fenómenos asociados con El Niño (Zamora, 2011). Estos cambios han afectado a la estación de la reproducción de animales y plantas y/o la de la migración de los animales, a la extensión de la estación de crecimiento, a la distribución de las especies y el tamaño de sus poblaciones, y a la frecuencia de las plagas y brotes de enfermedades. Algunos ecosistemas costeros o aquellos en altitud y latitud altas también se han visto afectados por los cambios en el clima regional (IPCC, 2002).

2.1.2.1 Principales gases del efecto invernadero

La composición de la atmósfera de la tierra está compuesta por 78.0% de nitrógeno, 21.0% de oxígeno y 1.0% de otros gases, entre ellos los de efecto invernadero: vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), principalmente. Éstos tienen la capacidad de retener parte de la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, manteniéndola así aún más caliente de lo que estaría en su ausencia (Estrada, 2001; Caballero *et al.*, 2007; SEMARNAT, 2009)

Los gases de efecto invernadero (GEI) son aquellos que atrapan el calor en la atmósfera, permitiendo que la temperatura promedio de la tierra sea de aproximadamente 15 °C. Sin este “efecto invernadero” natural, la temperatura ambiente promedio sería alrededor de 33 °C menor que la actual, lo que haría imposible la mayor parte de la vida que conocemos. Sin embargo, desde la Revolución Industrial, las actividades humanas han aumentado considerablemente la cantidad de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera, lo que ha intensificado el efecto invernadero natural. Esto, al incrementar la temperatura planetaria promedio, tiene efectos graves en el clima (CCA, 2011).

Los principales gases de efecto invernadero son:

- **Vapor de agua.**- el agua es el gas de efecto invernadero más importante de la atmosfera terrestre, en el sentido de que produce más calentamiento invernadero que cualquier otro gas, aunque molécula a molécula es menos eficiente en absorber radiación que el CO₂. La presión de vapor de equilibrio del agua líquida, y consecuentemente la concentración máxima de vapor de agua en el aire, aumenta exponencialmente con la temperatura. Así pues, la cantidad de irradiación térmica redirigida por el vapor de agua, aumentara como resultado de cualquier calentamiento global inducido por otros gases, amplificando el aumento de temperatura (Baird, 2004).
- **Metano.**- es un gas de efecto invernadero muy fuerte. Las principales fuentes de metano adicional añadido a la atmósfera (en orden de importancia) son: el cultivo del arroz, el pastoreo de animales domésticos, termitas, rellenos sanitarios, la minería del carbón, y la extracción de petróleo y gas. Animales de pastoreo liberan metano al medio ambiente como resultado de la digestión herbácea. Los rellenos sanitarios producen metano cuando los residuos orgánicos se descomponen con el tiempo. Los yacimientos de carbón, petróleo y gas natural liberan metano a la atmósfera cuando estos depósitos son excavados o perforados (Pidwirny, 2006).
- **Oxido nitroso.**- es un gas de efecto invernadero potente producido por las practicas de cultivo del suelo, especialmente el uso de fertilizantes comerciales y orgánicos, la combustión de combustibles fósiles, la producción de acido nítrico, y la quema de biomasa (NASA, 2013).
- **Dióxido de carbono.**- es un gas natural que se produce como un subproducto de la quema de combustibles fósiles y de biomasa, así como otros procesos industriales y los cambios de uso de suelo. Es el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta el balance radiactivo de la tierra y es el gas de referencia contra el cual los otros gases de efecto invernadero se miden en general (IPCC, 2005).

2.1.2.2 Aumento del CO₂ una de las principales causas del cambio climático

El calentamiento global es principalmente el resultado del creciente nivel de CO₂ en la atmosfera. Las variaciones en la composición de la atmosfera provocadas por la actividad humana es el factor que más influye en el cambio climático. Así, se sostiene que existe al menos un 90% de posibilidades de que la quema de combustibles fósiles sea culpable de la subida de temperaturas observada en los últimos años (IPCC, 2007^b). El aumento de CO₂ se debe sobre todo al uso de combustibles fósiles y en la reducción de la masa forestal, con lo que disminuye la absorción CO₂, que se retiene en la fotosíntesis. Mientras que la naturaleza tardó más de 300 millones de años para capturar el CO₂ atmosférico depositándolo en los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), los humanos han tardado menos de 300 años en devolverlo a la naturaleza de nuevo, mediante su combustión (Gutiérrez y Gutiérrez, 2009).

Se estima que en el contexto mundial se emiten alrededor de 24 000 millones de toneladas de CO₂. Los países con mayores emisiones son encabezados por los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), con un 52% del total, seguidos de la antigua URSS con un 14%, y China con el 13%. Estados Unidos emite alrededor de 5 500 millones de toneladas, lo que supone casi una cuarta parte del total mundial. En América Latina destaca México, con unos 360 millones de toneladas y un 1% de las emisiones mundiales (Doménech, 2007).

La agencia meteorológica Estadounidense National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) recoge a través de la red de muestreo aéreo mundial NOAA-ESRL muestras de aire para cuantificar el contenido de CO₂ en Mauna Loa, Hawaii. La tasa de crecimiento anual medido en Mauna Loa no es la misma que la tasa de crecimiento global, pero es bastante similar (NOAA, 2014). A continuación se presenta la concentración atmosférica de CO₂ de Mauna Loa, Hawaii en los últimos 50 años:

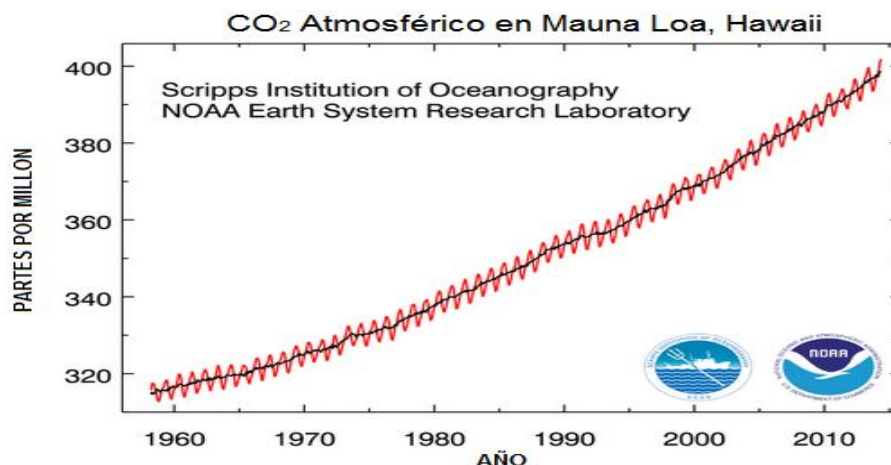


Figura 2.- Concentraciones atmosféricas de CO₂ en Mauna Loa, Hawaii en el período de 1960 a 2010.

La curva roja representa los datos de dióxido de carbono medido como la fracción molar en el aire seco, mientras que la curva negra representa los datos corregidos estacionalmente. Los datos se presentan como una fracción molar en seco definido como el número de moléculas de dióxido de carbono divididas por el número de moléculas de aire seco multiplicado por un millón (ppm) (NOAA, 2014).

En la primera mitad del siglo XVIII, antes de la Revolución Industrial, las concentración de CO₂ era de unas 280 partes por millón (ppm) y actualmente alcanza aproximadamente 400 ppm. Sin embargo, más del 50% del cambio se ha producido después de 1950. Hasta el siglo XIX, las actividades humanas apenas influían en el almacenamiento de carbono en la tierra a través de los incendios, el uso de combustibles y la deforestación pero desde el inicio de la Revolución industrial, estas actividades han tenido repercusiones importantes sobre el ciclo mundial del carbono (IPCC, 2007^a). Entre 1850 y 1980 se emitieron a la atmósfera más de 100 Gt de carbono a través de los cambios del uso de la tierra, que supusieron alrededor de un tercio de las emisiones totales de carbono antropógeno de ese período. En las últimas décadas, el incremento anual de la concentración de CO₂ en el aire ha sido por término medio de 1.5 ppm (es decir, un 0.5% anual), lo que en cantidades absolutas supone unos 3 Petagramos (Pg) de carbono por año (Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente, Junta de Extremadura, 2010).

2.1.3 Consecuencias del aumento del los gases de efecto invernadero

El IPCC (2002) ha pronosticado que, como resultado de los cambios en los patrones de precipitación y temperatura global, “en el transcurso de este siglo, la “resiliencia” de muchos ecosistemas (su capacidad natural de adaptación) probablemente se verá superada por una combinación sin precedentes de cambios en el clima y en otros motores de cambio global (especialmente, cambio de uso de la tierra y sobreexplotación), si las emisiones de gases con efecto invernadero y otros cambios continúan con el ritmo que actualmente llevan.

Se pueden identificar cuatro grandes respuestas ecológicas que tendría el aumento de los gases de efecto invernadero, estas son:

1. Cambios geográficos mayores (la expansión de los bosques boreales hacia la tundra, la expansión de la vegetación arbustiva en las praderas, etc.).
2. Cambios mayores en la composición debido a las grandes modificaciones climáticas (de bosque húmedo a seco, de praderas áridas a desierto, el cambio en el nivel del pH del mar).
3. Cambios mayores en los patrones de perturbaciones (más incendios, más sequías y más inundaciones).
4. Pérdida de especies debido a los desajustes en el calendario de las especies, a la competencia con especies nuevas en el ecosistema y al estrés directo (Moreno, 2005; Herrán, 2009; FAO, 2012).

Para el 2100, los ecosistemas se verán expuestos a niveles de CO₂ atmosférico sustancialmente más altos que en los pasados 650 000 años, y a temperaturas más altas que las de los últimos 740 000 años. Esto alterará la estructura, reducirá la biodiversidad y perturbará el funcionamiento de la mayoría de los ecosistemas; a la vez que comprometerá los servicios que esos ecosistemas ofrecen actualmente (FAO, 2012).

Para analizar los efectos del cambio climático sobre la fisiología de las plantas es necesario considerar varios factores ambientales y su interacción con los procesos fisiológicos de las plantas. El incremento de la temperatura generará problemas de erosión genética y conducirá a la extinción de muchas especies vegetales; las altas temperaturas pueden afectar adversamente la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas y la estabilidad de las membranas, la regulación hormonal y el metabolismo secundario de las plantas. La fotosíntesis neta, se incrementa progresivamente con el aumento del CO₂, en particular, en especies C₃, pero a altas temperaturas, se reduce por efecto del aumento en la fotorrespiración. La exposición al ozono (O₃) disminuye la difusión estomática, la tasa fotosintética, afecta la partición de asimilados y, en general, reduce el crecimiento de las plantas (Orozco *et al.*, 2012).

Las emisiones antropogénicas de CO₂ podrían reducirse a través de dos procesos: por la reducción de emisiones antropogénicas de CO₂ o creación y/o mejoramiento de los sumideros de carbono en la biosfera (Andrade y Ibrahim, 2003).

2.2 CICLO GLOBAL DEL CARBONO Y SUMIDEROS DE CO₂

El ciclo global del carbono se describe tomando en cuenta los intercambios entre la atmósfera y la biosfera continental, así como las modificaciones causadas por las actividades humanas: deposiciones nitrogenadas, aumento del CO₂ atmosférico y el calentamiento climático inducido. Estos cambios globales tienen como consecuencia un aumento de producción vegetal y un almacenamiento de carbono en la biomasa de los árboles y en la materia orgánica del suelo (Saugier y Pontauiller; 2006)

El siguiente diagrama muestra el movimiento del carbono entre la tierra, la atmósfera y los océanos. Los números amarillos son los flujos naturales y los rojos son las contribuciones humanas en gigatoneladas (Gg_{tc}) de carbono al año. Los números blancos indican el carbono almacenado. Los océanos absorben 2 Gg_{tc} y las plantas 3 Gg_{tc} de los 9 Gg_{tc} de carbono emitidos por el hombre al año. Los 4 Gg_{tc} se acumulan en la atmósfera cada año (NASA, 2011).

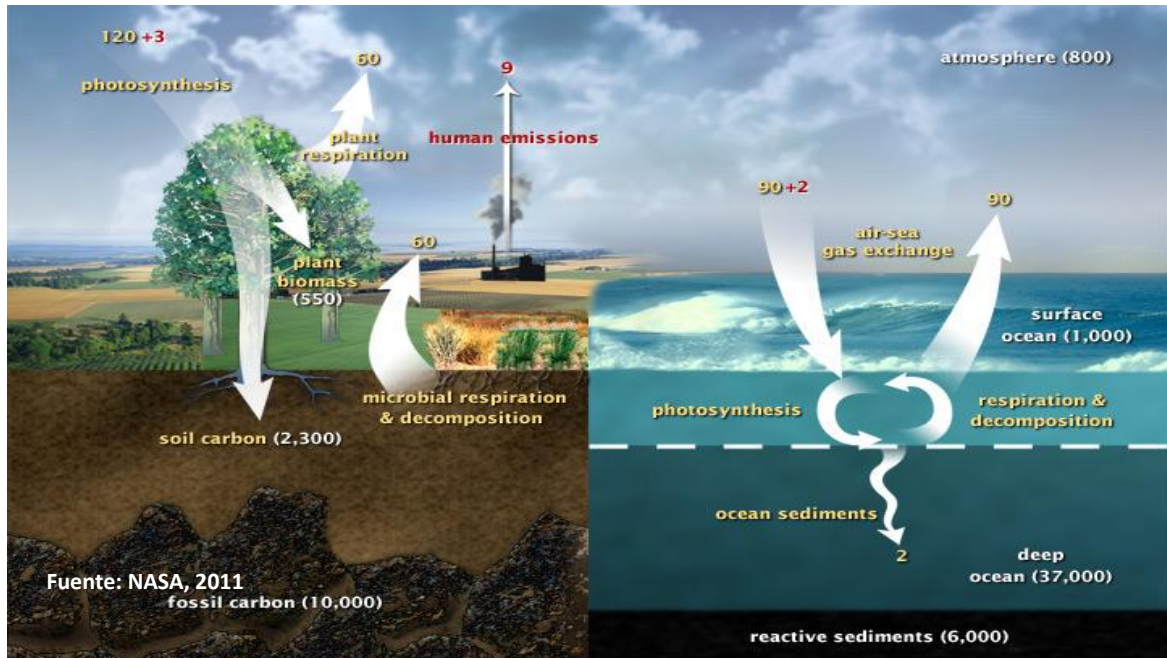


Figura 3.- Ciclo global del carbono

2.2.1 Sumideros de CO₂

Se considera como sumidero, todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena. Los sumideros de CO₂ almacenan carbono en compuestos orgánicos que conforman la biomasa y la materia orgánica de los suelos, y constituyen una de las formas de mitigación del efecto invernadero (Camps y Pinto; 2004).

El secuestro de carbono elimina el carbono en forma de CO₂, ya sea directamente desde la atmósfera o al final de la combustión y los procesos industriales. Un tipo de secuestro es el almacenamiento a largo plazo del carbono en los árboles y las plantas (la biosfera terrestre), comúnmente conocida como el secuestro terrestre. El CO₂ eliminado de la atmósfera se almacena ya sea en plantas que crecen en forma de biomasa o absorbida por los océanos y suelos. El secuestro de carbono ayuda a reducir o retrasar la acumulación de concentraciones de CO₂ en la atmósfera (EPA, 2012).

Los bosques, los suelos, los océanos y la atmósfera son los depósitos más importantes de carbono, y antes de la Revolución Industrial, la cantidad de movimiento de carbono entre estos depósitos era relativamente equilibrada. Sin embargo, los seres humanos han

alterado el ciclo global del carbono, principalmente por la liberación de grandes cantidades de carbono a través de la quema de combustibles fósiles (Díaz, 2007; David Suzuki Foundation, 2014).

2.2.1.1 Océanos

Los océanos se consideran como uno de los principales sumideros de CO₂. Sin embargo un descenso del pH oceánico podría impedir que ciertos organismos produzcan carbonato cálcico. Las aguas frías están menos saturadas que las cálidas para las diversas formas de carbonato cálcico, por ello los ecosistemas de latitudes elevadas y los de aguas profundas podrían ser los primeros en sufrir los efectos de la acidificación del océano. Un fuerte cambio en la acidez del medio oceánico podría dañar el zooplancton, las bacterias y los organismos del fondo incapaces de trasladarse hacia aguas menos acidas. El problema de la acidez podría reducirse si se mantiene diluida la concentración de dióxido de carbono (Rodríguez *et al.*, 2013).

La asimilación de dióxido de carbono por el fitoplancton se encuentra limitada por la pequeña fracción del carbono que hay en el océano en forma disuelta. Por ello se supone que el fitoplancton tomara ventaja del incremento de CO₂ disuelto en los ecosistemas oceánicos. Hay que añadir que muchas especies de fitoplancton utilizan el HCO₃⁻ para la fotosíntesis, pero las fanerógamas marinas, muy abundantes en ciertas latitudes utilizan el dióxido de carbono disuelto por lo que saldrán beneficiadas del incremento del mismo. El principal problema del fitoplancton marino es que se encuentra limitado por nutrientes, por ejemplo por el hierro, y por ello su capacidad de ser sumidero vía actividad fotosintética se ve disminuida (Figueroa y Redondo, 2007).

2.2.1.2 Suelo

El suelo tiene capacidad para acumular carbono y retenerlo por largos periodos de tiempo. La cantidad de carbono que un suelo puede secuestrar y su distribución son funciones de las características, del uso y manejo del suelo. Prácticas que aumentan la producción de biomasa vegetal o que reducen la erosión y la oxidación microbiana de la materia orgánica, son efectivas para incrementar la captura del carbono atmosférico y

mitigar los efectos ambientales negativos que causa el aumento del CO₂ atmosférico. Además, incrementan y preservan la calidad del suelo y mejoran la productividad agrícola (Vergara *et al.*, 2004).

En el suelo ocurre una parte importante del ciclo global del carbono. Se estima que el total del carbono acumulado en los suelos de todo el mundo es mayor que la suma de éste en la atmósfera y en la vegetación. El carbono que el suelo secuestra es considerado como un servicio ambiental de alto beneficio para la humanidad (Hontoria *et al.*, 2004).

El carbono migra entre el suelo y la atmósfera en un ciclo impulsado por la fotosíntesis y se incorpora al suelo a través de raíces y residuos vegetales. Estos procesos están estrechamente relacionados con las condiciones de temperatura y humedad, por lo que los cambios en los patrones climáticos pueden significar una mayor o menor liberación de bióxido de carbono (CO₂) y por lo tanto contribuir a las concentraciones de este gas en la atmósfera (SAGARPA, 2010).

2.2.1.3 Plantas

Las plantas actúan como excelentes sumideros de carbono. La capacidad de absorción de este gas se relaciona de forma directa con el tamaño y densidad de la planta, de modo que cuanto más crezca el ejemplar, más cantidad de carbono fijará. Por esta razón, los árboles jóvenes resultan especialmente eficaces en esta tarea. También la longevidad influye en la cantidad de CO₂ que puede absorber un árbol. Normalmente, las especies muy longevas suelen presentar crecimientos lentos, pero su capacidad de absorción de carbono se ve compensada por sus vidas sustancialmente más largas (Otero, 2013).

Los sistemas agroforestales pueden fijar y almacenar entre 12 y 228 t C ha⁻¹, incluyendo el carbono orgánico del suelo, lo cual representa entre el 20 y 46% del carbono secuestrado en bosques primarios (Ortiz *et al.*, 2008).

La capacidad de los árboles y del resto de las plantas de absorber y secuestrar CO₂ reside en la función fotosintética, gracias a la cual el CO₂ queda fijado en las raíces, troncos y hojas en forma de carbono. Las plantas también respiran, tomando oxígeno de la

atmósfera y devolviendo a ella dióxido de carbono. Sin embargo, el balance final en cuanto a absorción de CO₂ es claramente positivo. (Carvajal *et al.*, 2010; Otero, 2013)

Las zonas áridas del planeta, que constituyen sus ecosistemas más extensos, absorben significativas cantidades del dióxido de carbono emitido a la atmósfera, lo que ayuda a combatir el cambio climático (Evans *et al.*, 2014). La respuesta que tienen las plantas de las zonas áridas a condiciones extremas es una clave para entender las respuestas de los ecosistemas del desierto con el cambio climático (Liu *et al.*, 2012)

2.3 ZONAS ÁRIDAS

La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCC) define las zonas áridas, semiáridas y sub húmedas secas como “aquellas zonas en las que la proporción entre la precipitación anual y la evapotranspiración (índice de aridez) potencial está comprendido entre 0.05 y 0.65, excluidas las regiones polares y subpolares”. Las zonas híper áridas se caracterizan por una proporción que normalmente es inferior a 0.05 (Gratzfeld, 2004). Esto indica una enorme descompensación entre la cantidad de agua que potencialmente puede pasar a la atmosfera por evapotranspiración y la cantidad de agua de lluvia que realmente reciben estas zonas (Fernández, 2010).

Las tierras áridas y subhúmedas cubren aproximadamente el 47% del área terrestre de la tierra e incluyen regiones áridas y semiáridas, praderas, sabanas y los paisajes mediterráneos (CBD, 2010).

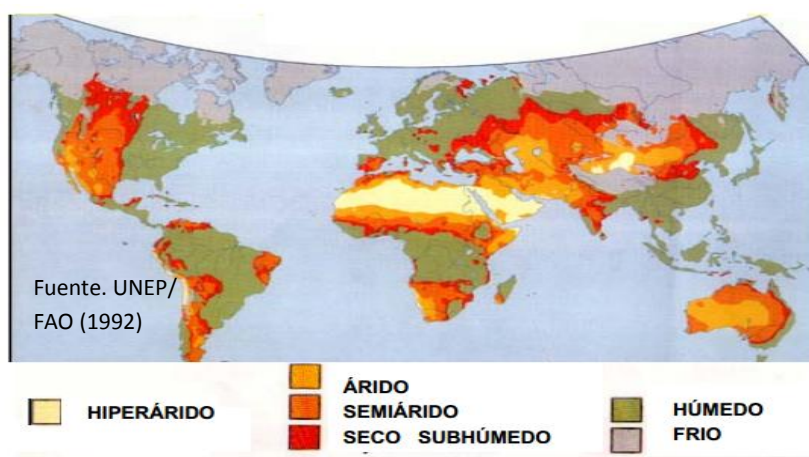


Figura 4.- Atlas mundial de la desertificación

Las características físicas y climatológicas de los ambientes áridos, y de su flora y fauna, varían considerablemente. Los elementos fisiográficos, la proximidad a la costa y la altitud contribuyen a conformar el carácter de ambientes áridos específicos (Gratzfeld, 2004).

2.3.1 Características ambientales de las zonas áridas

Las zonas áridas se caracterizan por precipitaciones escasas e irregulares, fluctuaciones de la temperatura del aire y del suelo entre el día y la noche y escasa humedad; sin embargo, durante algunas épocas del año esta última aumenta de manera apreciable por efecto del rocío. Los vientos suelen ser fuertes, los días muy despejados y con sol, los períodos de sequía prolongados e imprevisibles (FAO, 2003).

2.3.2 Características del suelo en zonas áridas

Los suelos de las zonas áridas son variables en profundidad, textura, pH, conductividad eléctrica y fertilidad, siendo frecuente los suelos con perfil incipiente o poco desarrollado. Estos suelos acumulan sales solubles cuya distribución, composición y concentración depende de las características y flujo del agua en el perfil. En zonas con baja precipitación, la evaporación del agua deja en el suelo sales que al no ser disueltas y redistribuidas, generan la salinización de los suelos (Celaya y Castellanos, 2011).

Los suelos de zonas áridas y semiáridas acumulan carbonatos y la tasa de infiltración del horizonte cálcico depende del contenido de carbonato. La productividad de estos suelos depende de la capacidad de retención de agua, textura, profundidad y contenido de materia orgánica. La materia orgánica en estos suelos es típicamente baja por la escasa cubierta vegetal y limitada productividad (Mazuela, 2013).

2.3.3 Paisaje

Los ambientes áridos abarcan una amplia gama de paisajes espectaculares, incluyendo montañas, mesetas, serranías, roca madre de escaso ángulo, abanicos aluviales, llanuras fluviales, deltas, wadis, y cauces secos de ríos, dunas y arenales, estratos arenosos, empedrados y llanos desiertos y depósitos volcánicos recientes. Estas características son importantes tanto desde el punto de vista visual en un paisaje por lo general sin árboles, como desde el punto de vista biológico, como micro-hábitats. La topografía de los

ambientes áridos redistribuye los recursos hídricos, lo cual permite que crezcan vegetación y árboles en las áreas alrededor de los valles y cerca de las fuentes de agua subterránea permanente. En áreas donde las precipitaciones son algo mayores, pueden predominar tipos de paisajes de pastizales y sabanas (Gratzfeld, 2004).

2.3.4 Flora y fauna

Las zonas áridas representan un gran potencial porque guardan una riqueza basada no tanto en su densidad, como en su especialización biológica, donde la flora y la fauna son el producto de miles de años de adaptación fisiológica para su sobrevivencia (Lira, 2003)

En los ecosistemas áridos, los animales y las plantas se enfrentan a dos problemas mayores: resistir al calor y a la escasez o ausencia de agua. El calor y la sequía son factores limitantes del desarrollo de las poblaciones animales y vegetales. Por ello las especies que habitan en los ecosistemas áridos presentan diversas adaptaciones morfológicas, fisiológicas y de comportamiento que les permiten compensar el efecto negativo de estos factores (UNESCO, 2007).

La fauna en zonas áridas se ha adaptado a las condiciones ambientales que en ella se caracteriza, es el hábitat de artrópodos tales como las arañas, escorpiones y langostas o saltamontes; reptiles, como los lagartos y culebras; y otros que pueden ser de uso doméstico, como cabras, ovejas, camellos, caballos, asnos y ganado (Salas, 2000).

En zonas áridas la cobertura vegetal tienen una baja riqueza de especies de plantas por kilómetro cuadrado pero presentan una alta tasa de endemismos, en estas áreas se encuentran plantas permanentes que generalmente son espinosas, matorrales xerófilos y pastizales anuales y perennes (Flores, 2011).

En las regiones áridas crecen tres categorías básicas de plantas:

- Plantas efímeras, que suelen disminuir la superficie expuesta para evitar la excesiva evaporación o calentamiento. Las hojas son pequeñas, enroscadas o tienen corta vida; otras directamente las suprimen y las transforman en ramas o

espinas. Sólo algunas pocas especies escapan de la sequía creciendo rápidamente y completando su desarrollo durante la corta estación de lluvias (UNL, 2009).

- Plantas perennes suculentas, que pueden soportar las sequias. Tienen una capa de material ceroso resistente al agua en su superficie para minimizar la pérdida de agua y un tallo u hojas ensanchados, lo que les permite almacenar un volumen mayor de agua (Gratzfeld, 2004).
- Plantas perennes leñosas que abarcan desde hierbas y hierbas arbóreas hasta arbustos y árboles. Pueden ser perennifolias o de hoja caduca y son muy duras. Muchas perennes arbóreas tienen espinas o una textura dura. Algunas producen semillas que solo germinan si el revestimiento de la semilla se rompe o abrasa (Gratzfeld, 2004).

2.4 Especies vegetales de la Zona Árida Chihuahuense en México

En la República Mexicana las zonas áridas ocupan aproximadamente el 40% de la superficie (CONAFOR, 2010; Maldonado, 2012). En estas zonas se encuentra en particular la región árida Chihuahuense, la más grande de América cubre una superficie de 507 000 km², desde Nuevo México y Texas en Estados Unidos, hasta parte de los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, Guanajuato e Hidalgo (Granados *et al.*, 2011; González, 2012).



Figura 5.- Zona Árida Chihuahuense

En la zona árida Chihuahuense, las principales asociaciones vegetales que se encuentran son: *Larrea tridentata*, *Agave lechuguilla*, *Dasyilirion spp*, *Acacia farnesiana*, pastizal, chaparral, nopalera, mezquital, izotal, vegetación de dunas y vegetación halófitas (Granados *et al.*, 2011), así como el orégano (*Lippia graveolens*) que se distribuye en forma abundante en algunas áreas de la región árida chihuahuense y, en particular en la zona de Mapimi (Granados *et al.*, 2013).

2.4.1 Gobernadora (*Larrea tridentata*)

Crece en los sitios más secos de México, en terrenos planos, laderas, lomeríos bajos (originados de materiales geológicos del cretácico superior e inferior) y en planicies aluviales. Se desarrolla en lugares con temperaturas de 14 a 28 °C y presencia de 8 meses de sequía, en climas áridos y muy áridos y en precipitaciones de 150 a 500 mm anuales. Los suelos en los que se desarrolla son de profundidad variable, textura franco arenosa, estructura granular, drenaje interno medio de consistencia friable, de color café grisáceo, compacto arcilloso, calcáreo, blanco-arenoso, aluvial con pH de 6.8 a 7.6 (CONABIO, 2008). Su edad puede exceder los 100 años, aunque algunas plantas pueden sobrevivir cientos o miles de años a través de reproducción vegetativa asexual, ya que las raíces producen brotes o retoños que después se convierten en nuevas plantas (Lira, 2003).

Distribución geográfica. *Larrea tridentata* domina aproximadamente 17.5 millones de ha desde el oeste de Texas hasta el sur de California en los Estados Unidos. Su rango en el Desierto Mojave va desde la parte sur de California y Nevada a la parte central de Arizona y Nuevo México, limitado por heladas invernales o lluvias excesivas de invierno. En la República Mexicana, la gobernadora se encuentra en parte del Desierto Sonorense, incluyendo los estados de Baja California Norte, Baja California Sur y Sonora, y en el Desierto Chihuahuense incluyendo los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí y Durango. Se estima que el 25% (500 000 km²) del territorio nacional está cubierto con este arbusto de las zonas áridas (Lira, 2003).

Clasificación taxonómica.

- Reino: Plantae
- División: Tracheophyta
- Clase: *Magnoliopsida*
- Orden: *Zygophyllales*
- Familia: *Zygophyllaceae*
- Género: *Larrea*
- Especie: *L. tridentata* (EOL, 2013)



Figura 6.- *Larrea tridentata*

Descripción botánica.

- **Forma.-** Arbusto muy ramificado, perennifolio, de 0.6 a 3m de altura.
- **Copa / Hojas.-** Hojas formadas por 2 folíolos unidos entre sí en la base. Los folíolos oblicuamente ovulados a lanceolados o falcados, de 4 a 15 mm de largo por 3 a 8 mm de ancho, enteros, coriáceos, resinosos, de olor penetrante, verde o verde amarillentos. La copa tiene un volumen promedio de 0.124 m³ por arbusto.
- **Tronco / Ramas.-** Arbusto erecto ramificado desde la base.
- **Flor(es).-** Flores solitarias de 2.5 cm de diámetro, sépalos elípticos de 6 mm de largo por 4 mm de ancho, pubescentes, caedizos; pétalos de color amarillo fuerte, oblongos a lanceolados, de 1 cm de largo por 3 a 5 mm de ancho, caedizos.
- **Fruto(s).-** Fruto subgloboso a o ovoide, de 7 mm de largo, coriáceo, con pelos blancos, sedosos, que se vuelven café-rojizos (SEMARNAT, 2004)

Usos de la especie

La gobernadora tiene un uso potencial para la fitorremediación en sitios contaminados por cobre y plomo (Madinaveitia, 2002). Las hojas por su alto contenido de proteínas han sido utilizadas como fuente de forraje para los animales (Domínguez *et al.*, 2012).

Asimismo, sus hojas y tallo son apreciados por sus propiedades medicinales (Arteaga *et al.*, 2005).

2.4.2 Mezquite (*Prosopis glandulosa*)

Se desarrolla en zonas de precipitación muy escasa desde 150 a 250 mm/año y en ciertos lugares con 500 a 1 000 mm/año, temperatura alta, humedad atmosférica escasa, insolación intensa. Se presenta en climas cálidos y semicálidos. Crece en gran variedad de suelos, incluso en suelos muy pobres como dunas secas y guijosas. Suelos: arenoso-arcilloso, salino, erosionado, rocoso, arenoso, suelos de aluvión, litologías de yesos, calizas y lutitas. Crece sin dificultad en suelos con un pH de 6.5 a 8.3 y es capaz de crecer en suelos sódicos con un pH de hasta 10.4 (CONABIO, 2009). La reproducción del mezquite en condiciones naturales es únicamente por medio de semilla. La semilla es la parte más vulnerable en el ciclo de vida de *Prosopis*, debido a la cantidad de agua tan limitada que proviene del ambiente desértico. La dispersión de la semilla es endozóica, a través del tracto digestivo de los animales (INECC, 2007).

Distribución geográfica. A nivel mundial existen 44 especies del género *Prosopis*, 42 de las cuales se encuentran en el continente americano, distribuidas en dos grandes centros: el norteamericano (mexicano-tejano) y el sudamericano (argentino-paraguayo-chileno). El complejo norteamericano cuenta con nueve especies, todas ellas presentes en casi todo el territorio mexicano, con excepción de las zonas montañosas y las partes bajas del sureste del país. La especie *Prosopis glandulosa* tiene un dominio en el norte de México, en los estados de Coahuila, Chihuahua, Sonora, Durango, Nuevo León y norte de Tamaulipas (Cervantes, 2002).

Clasificación taxonómica.

- Reino: Plantae
- División: Tracheophyta
- Clase: *Magnoliopsida*
- Orden: *Fabales*



Figura 7.-*Prosopis grandulosa*

- Familia: *Fabaceae*
- Género: *Prosopis*
- Especie: *Prosopis grandulosa* (ITIS, 2009)

Descripción botánica.

- **Forma.-** el mezquite es un arbusto o árbol perenne espinoso de hasta 10 m de altura.
- **Raíz.-** puede alcanzar más de 50 m de profundidad y hasta 15 m en sus laterales.
- **Tallos.-** son de corteza oscura y ramas con abundantes espinas axilares o terminales.
- **Hojas.-** son compuestas, bipinnadas con 12 a 15 pares de folíolos oblongos o lineares, de 5 a 10 mm de largo.
- **Flores.-** son de color amarillo verdoso, agrupado en racimos, miden de 4 a 10 mm, son bisexuales, actinomorfas, con 5 sépalos y 10 estambres.
- **Fruto.-** es una vaina de color paja o rojizo violáceo; con forma de lomento drupáceo, alargado, recto o arqueado y espira lado en algunos casos, indehiscente, de 10 a 30 cm de longitud, puede ser plano o cilíndrico en la madurez y contiene de 12 a 20 semillas (Meza y Osuna, 2003).

Usos de la especie

Las vainas y el follaje del mezquite son usados como forraje para ganado, mientras que su madera es usada para construcción y combustible (Cervantes, 2005; González, 2012). La infusión de algunas partes de la planta es usada para combatir algunas enfermedades (INE, 2007). El mezquite produce resina que tiene uso en la fabricación de pegamentos y barnices, mientras sus flores son importantes en la producción de miel (Rodríguez *et al.*, 2014).

2.4.3 Orégano (*Lippia graveolens*)

Su principal hábitat se ubica en suelos generalmente pedregosos de cerros, laderas y cañadas entre los 400 y 2 000 metros de altitud, aunque se le encuentra en mayor

abundancia entre los 1 400 y 1 800 metros de altitud. Crece en casi todos los tipos de suelos ricos en materia orgánica, silíceos arcillosos, francos, humíferos, calcáreos, arcilloso-arenoso e incluso en lugares árido, tolerando el pH alcalino de los suelos. Se desarrolla en lugares con temperaturas de 18° a 24°C (Aguilar *et al.*, 2013). La única forma de reproducción natural del orégano es por medio de semillas (Ocampo *et al.*, 2009).

Distribución geográfica.- La distribución general del orégano (*Lippia graveolens*) abarca Estados Unidos (sur de Texas), México, Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica. En México, *Lippia graveolens* se establece a lo largo del litoral del Golfo, la vertiente del Pacífico, en la península de Yucatán, en las depresiones y valles interiores (Balsas, Tehuacán, depresión de Chiapas, istmo de Tehuantepec), en las zonas áridas tamaulipeca e Hidalguense y en el desierto chihuahuense (Sánchez *et al.*, 2007).

Clasificación taxonómica.

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: *Magnoliopsida*
- Orden: *Lamiales*
- Familia: *Verbenaceae*
- Género: *Lippia*
- Especie: *Lippia graveolens* (Villavicencio *et al.*, 2010)



Figura 8.- *Lippia graveolens*

Descripción botánica.

Forma.- es un arbusto perenne, delgado y aromático, de hasta tres metros de altura.

Tallos.- sus tallos son cuadrangulares, delgados densamente vilosos y glandulares.

Ramas y hojas.- Las ramas principales frecuentemente tienen corteza exfoliante. Sus hojas son opuestas, ovaladas-alanceoladas, con pecíolos delgados, haz rugoso-escabroso,

estrigoso-glandular, envés densamente piloso, ápice obtuso y margen diversamente crenado.

Flores.- están en espigas subglobosas, corolas blancas, zigomorfas y presentan cuatro estambres.

Frutos.- son pequeños y forman una cápsula indehiscente, las semillas se presentan sin endospermo (Flores, 2009).

En general en poblaciones de zonas áridas y semiáridas, la floración se restringe de agosto a octubre, por ser la época asociada con mayores precipitaciones (INE, 2007^b).

Usos de la especie

El orégano es utilizado con fines culinarios y conservador de alimentos (Arcila *et al.*, 2004). Las hojas, los tallos y las flores se caracterizan por su efecto altamente antioxidante. Así mismo estos tejidos tienen actividades altamente antisépticas y antimicrobianas (CONAFOR, 2008; García *et al.*, 2010).

2.4.4 Huizache (*Acacia farnesiana*)

Por lo general se desarrolla a orilla de caminos, arroyos, parcelas abandonadas, terrenos con disturbio, terrenos sucesionales, sitios ruderales. Se le encuentra en climas cálidos, semicálidos y zonas áridas, en regiones con temperaturas que varían de 5 a 30 °C. Prospera en una gran variedad de suelos desde muy arcillosos hasta muy arenosos. Suelos: rendzina, xegorendzina, vertisol, arenoso, húmedo, caliza, yeso, lutita y aluvión. La forma de reproducción natural del huizache es por medio de semillas (CONABIO, 2009).

Distribución geográfica.- Desde Estados Unidos hasta Argentina, principalmente en el pacífico seco y en regiones similares en Australia y África del Sur. En México su distribución se reporta en los estados de Baja California Norte, Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca,

Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luís Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán, Zacatecas (Rojas y Torres, 2012).

Clasificación taxonómica.

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: *Magnoliopsida*
- Orden: *Fabales*
- Familia: *Fabaceae*
- Subfamilia: *Mimosoideae*
- Género: *Acacia*
- Especie: *Acacia farnesiana* (Zamora, 2010)



Figura 9.- *Acacia farnesiana*

Descripción botánica.

- **Forma.-** arbusto espinoso o árbol pequeño, perennifolio o subcaducifolio, de 1 a 2 m de altura la forma arbustiva y de 3 a 10 m la forma arbórea, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 40 cm.
- **Raíz.-** las raíces crecen de manera vertical y toman el agua del subsuelo.
- **Copa / Hojas.-** copa redondeada. Hojas plumosas, alternas, frecuentemente aglomeradas en las axilas de cada par de espinas, bipinnadas, de 2 a 8 cm de largo incluyendo el pecíolo, con 2 a 7 pares de folíolos primarios opuestos y 10 a 25 pares de folíolos secundarios.
- **Tronco / Ramas.-** tronco corto y delgado, bien definido o ramificado desde la base con numerosos tallos. Ramas ascendentes y a veces horizontales, provistas de espinas de 6 a 25 mm de longitud.

- **Flor(es).**- flores en cabezuelas de color amarillo, originadas en las axilas de las espinas, solitarias o en grupos de 2 a 3. Muy perfumadas, de 5 mm de largo; cáliz verde, campanulado, papiráceo de 1.8 mm de largo; corola amarillenta o verdosa, de 2.3 mm de largo. Sus brillantes flores están apiñadas en bolas densas y mullidas y con frecuencia cubren el árbol en forma tal que éste da la sensación de una masa amarilla.
- **Fruto(s).**- vainas moreno rojizas, semiduras, subcilíndricas, solitarias o agrupadas en las axilas de las espinas, de 2 a 10 cm de largo, terminadas en una punta aguda, valvas coriáceas, fuertes y lisas, tardíamente dehiscentes. Permanecen en el árbol después de madurar.
- **Semilla(s).** Semillas reniformes, de 6 a 8 mm de largo, pardo-amarillentas. La testa de la semilla es impermeable al agua (CONABIO, 2009).

Uso de la especie.

El huizache es utilizado como fitorremediador de suelos contaminados con plomo (Landeros *et al.*, 2011), es utilizada como forraje de pequeños rumiantes en pastoreo, (Barrientos *et al.*, 2012), es fuente de leña, carbón y madera (Medina *et al.*, 2005; Monroy, 2007), asimismo sus hojas, espinas, y corteza tiene propiedades medicinales (Ramírez *et al.*, 2011).

La pérdida en biodiversidad en las zonas áridas será una de las principales consecuencias del cambio climático (Malagnoux *et al.*, 2007; Moreno y Urbina, 2008).

2.5 MÉTODOS EMPLEADOS PARA MEDIR LA CAPTURA DE CARBONO EN ESPECIES VEGETALES DE ZONAS ÁRIDAS

Becerril *et al.* (2014) determinaron el contenido de carbono en la biomasa aérea en especies vegetales de mezquite (*Prosopis laevigata*), huizache (*Acacia farnesiana*) y herbáceas representativas de una región semiárida del centro de México. Seleccionaron y muestrearon por método destructivo cinco individuos de cada especie para estimar biomasa seca total y por componente (hojas, ramas y fuste). Mediante información satelital estimaron la distribución espacial del contenido de carbono en la Cuenca Dolores

Hidalgo (Guanajuato), localizada en la región semiárida del centro de México. La cobertura vegetal del área de estudio se reclasificó en tres tipos: abierta, semiabierta y cerrada. Los resultados que se obtuvieron en el estudio fueron que el contenido de carbono en la cobertura abierta fue de 2.4 Mg C ha^{-1} , semiabierta $10.26 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y cerrada de $21.20 \text{ Mg C ha}^{-1}$.

Maicelo (2012) por método destructivo estimó la cantidad de carbono en la biomasa de 15 ejemplares de la especie *Ceroxylon peruvianum* de la cuenca Media del Río Utcubamba Amazonas en Perú. Seccionó de cada individuo de la especie el fuste de 1 a 2 m y cortando muestras de 5 cm de espesor, las sometió al igual que las muestras de ramas y hojas a un secado a 75°C hasta peso constante. La determinación de carbono total se realizó multiplicando la biomasa seca por el factor 0.5674 que corresponde a la especie *Ceroxylon peruvianum*. La determinación de la concentración de carbono total de *Ceroxylon peruvianum* fue de 98.07 kg de carbono total.

Zermeno *et al.* (2011) por medio del método de la covarianza de Eddy evaluaron la tasa de asimilación de CO_2 en un pastizal natural del norte de México. La tasa de asimilación de CO_2 del pastizal fue hasta $18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La retención promedio diaria de CO_2 por el pastizal (diferencia entre la asimilación durante el día y liberación durante la noche) fue $123.081 \text{ mmol m}^{-2}$, que correspondió a un promedio diario de $54.12 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Méndez *et al.* (2011) ajustaron ecuaciones alométricas para cuantificar la acumulación de carbono (C) y carbono equivalente (CO_2e) en una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Jerécuaro, estado de Guanajuato, México. Mediante análisis troncales y el modelo de Schumacher se obtuvo la tasa de incremento anual de carbono (C) y carbono equivalente (CO_2e). Se seleccionaron 40 árboles (20 por especie) sin deformidades, representativos de las categorías de diámetro y altura, considerando los estratos dominantes y co-dominantes, y se midió el diámetro normal (D) y altura total (H). Los árboles fueron derribados, troceados y separados en los componentes: hojas y ramas y fuste, cada componente se obtuvieron submuestras que fueron secadas en el laboratorio para medir peso seco y la biomasa total del árbol. La

biomasa de cada componente se multiplicó por el factor 0.50 y se transformó a contenido de carbono; este factor corresponde a la fracción de carbono (%) en la biomasa seca de la madera. El CO₂e fijado en la biomasa seca se obtuvo con el producto del peso seco y el coeficiente resultante de la relación entre el peso de la molécula de CO₂ y el peso del átomo de carbono. Los valores calculados fueron 19.68 t C ha⁻¹y 72.02 t CO₂e ha⁻¹, después de 12 años de establecida la plantación.

En varias plantas del desierto se han realizado estudios acerca de actividad fotosintética. Liu *et al.* (2012) utilizaron un sistema de fotosíntesis portátil para medir las respuestas del curso diurno de la fotosíntesis de dos arbustos del desierto del noroeste de china, cada conjunto de mediciones diurnas se llevó a cabo en intervalos de 1 hora entre las 7:00-19:00 horas con mediciones de 10 arbustos por especie, estos arbustos fueron: *Nitraria sphaerocarpa maxim* y *Calligonum mongolicum turcz*, sus valores de tasa máxima de fotosíntesis neta fueron: 23.27 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para *Nitraria sphaerocarpa maxim* y 32.92 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para *Calligonum mongolicum turcz*.

Landeros *et al.* (2011) por medio del medidor portátil LI-COR LI-6400 cuantificaron la tasa fotosintética de 48 individuos de la especie vegetal Huizache (*Acacia farnesiana*) en el horario de las 10:00 am, obteniendo una media general de fotosíntesis de los 48 individuos de 17.06 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El estudio se realizó en Bermejillo, en el municipio de Mapimí, Durango, en la región denominada Bolsón de Mapimí. Las coordenadas en donde se llevó a cabo el estudio se encuentran en el Cuadro 1. El tipo de clima que existe en la región del Bolsón de Mapimí es muy seco y extremoso semicálido con lluvias de verano, la temperatura media anual es de entre 21 y 22°C (INECC, 2013).

Muestreo

Se usó un Muestreo Simple Aleatorio (MSA) en el que se establecieron cuatro cuadrantes de 10 m x 10 m. En estos cuadrantes se midió la fotosíntesis de acuerdo al número de individuos presentes de: Gobernadora (*Larrea tridentata* (D.C.) Coville), Huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd), Mezquite (*Prosopis glandulosa*), y Orégano (*Lippia graveolens* Kunth). La posición geográfica de los cuadrantes y el número de individuos en los que se llevaron a cabo las mediciones se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1.- Ubicación geográfica de cuadrantes de muestreo y número de individuos en los que se llevaron a cabo mediciones.

CUADRANTE	COORDENADAS	ESPECIE	INDIVIDUOS
1	Latitud 25° 51' 20.2'' N Longitud 103° 46' 20.1'' O Altura 1214 m	Gobernadora	7
2	Latitud 25° 51' 22.2'' N Longitud 103° 46' 24.2'' O Altura 1218 m	Orégano	7
3	Latitud 25° 53' 05.9'' N Longitud 103° 36' 54.0'' O Altura 1131 m	Huizache	3
4	Latitud 25° 53' 20.0'' N Longitud 103° 35' 43.7'' O Altura 1109 m.	Mezquite	4

Las variables medidas fueron:

- Tasa fotosintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Conductancia ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$).

Las variables se determinaron con el medidor portátil de fotosíntesis LI-COR 6400 IRGA, por sus siglas en ingles, que significa Analizador de Gases en Infrarrojo.

- Índice de Área Foliar

El índice de área foliar (IAF) es una variable a dimensional definida como la proporción de hojas que cubren la proyección de ellas en el suelo. El IAF se determinó con un medidor de Índice de área foliar (LAI) LI-COR 2000. En primer lugar se realizó la calibración del medidor LAI, para posteriormente tomar a cada 90° del tronco de cada uno de los individuos de las especies analizadas las 4 lecturas totales correspondientes para su respectivo análisis. El equipo LAI-2000 toma en cuenta ramas y troncos en su medición, que atenúan la radiación y que puede significar el 10% del valor resultante del medidor de IAF (LI-COR, 1992), por lo que al resultado que determinó el medidor se le resto un 10% del total para obtener solamente la cantidad de índice de área foliar.

- Cobertura

Este indicador corresponde al valor del área de proyección de la copa. La cobertura de las cuatro especies en los cuatro cuadrantes fue determinada mediante la medición del diámetro de la copa (cm) que permitió calcular el área (m^2).

- Índice de clorofila

La medición se llevó a cabo con un medidor de Índice de Clorofila FieldScout Spectrum Technologies. El medidor de clorofila utiliza tecnología “apunte y dispare” para indicar instantáneamente el contenido relativo de clorofila. A una distancia de 30 cm de la hoja se colocó el medidor de clorofila para la toma de la lectura.

- Humedad del suelo (%)

La humedad del suelo se determinó a 30 y 60 cm de profundidad con base en la norma NOM-021-RECNAT para la determinación de la cantidad de agua expresada en porciento que contiene una muestra de suelo.

Medición de intercambio de gases

Para las mediciones de intercambio de gases, se seleccionaron cuatro hojas jóvenes completas en buenas condiciones de cada uno de los individuos en posición a los cuatro puntos cardinales (norte, sur, este y oeste). Las evaluaciones se llevaron a cabo en tres diferentes meses del año 2013: agosto, octubre y noviembre en tres diferentes horas del día 8:00 am, 12:00 pm y 5:00 pm. En el mes de octubre se observó la mayor floración de hojas en *L. graveolens* así como de sus flores.

Primero se realizó la calibración del medidor portátil de fotosíntesis LI-COR 6400, para posteriormente tomar la hoja de interés para su análisis, esta se colocó en la cámara y se esperó a tener por lo menos una de las variables estables (conductancia o fotosíntesis) y un coeficiente de variación general menor a 10% para tomar la lectura. Las variables de fotosíntesis y conductancia estomática fueron seleccionadas para definir el parámetro de estabilidad del equipo y tomar las lecturas. Las mediciones se llevaron a cabo en hojas jóvenes de cada una las especies.

El suministro CO_2 de durante las mediciones fue de 400 ppm, el flujo de aire se mantuvo entre 400 mmol s^{-1} , la humedad relativa de la cámara se mantuvo en aproximadamente un 50%, y la radiación fotosintéticamente activa se estableció en función de la estación ($9\text{-}2100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

En virtud de que las hojas de las especies a evaluar fueron pequeñas y no cubrieron el área total de la cámara de intercambio de gases del medidor portátil de fotosíntesis que es de 6 cm^2 , se determinó el área foliar de la hoja muestreada de cada una de las especies mediante el programa ImageJ (Rincón *et al.*, 2012). Se tomaron fotografías de las hojas

correspondientes simultáneamente con un objeto de área conocida y con el programa de imágenes se calculó el área de la hoja (cm^2) para obtener una mayor precisión de la asimilación de CO_2 de la hoja muestreada.

Estimación del área foliar

Para determinar el área foliar (m^2) de los individuos de cada especie, se multiplico el índice de área foliar por la cobertura.

Estimación de la captura de carbono

La estimación de la captura de carbono se realizó multiplicando la tasa de asimilación de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y el área foliar (m^2) de los individuos de las cuatro especies, posteriormente se multiplicó el resultado por doce horas (las horas de luz en un día oscila entre 10 - 14 horas por lo que se tomo la media de estas horas) para obtener el valor de captación de CO_2 en este tiempo. Los resultados obtenidos de la cantidad de captura de CO_2 por las doce horas se obtuvieron en $\mu\text{mol CO}_2$ por lo que se realizó un cálculo para la conversión de $\mu\text{mol CO}_2$ a g CO_2 , el cálculo fue el siguiente: se multiplicó el resultado de la cantidad de captura de CO_2 obtenido en $\mu\text{mol CO}_2$ por el peso molecular del CO_2 (46 g/mol) entre 1 000 000 μmol (lo que equivale 1 g en μmol) para obtener de esta manera la cantidad en gramos de CO_2 capturado por especie.

La base de datos obtenida fue analizada usando el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI. Se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables al igual que una prueba de Tukey y un análisis de correlación entre variables.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El determinar la captura de carbono de las especies vegetales mediante la medición de la tasa fotosintética, el índice de área foliar y la cobertura es una de las formas en que se puede cuantificar la cantidad de asimilación de CO₂ que las plantas secuestran del medio ambiente. Mediante este método no se demolerían ninguno de los individuos de las especies y se conservarían en su estado natural, por lo que continuarían con la captura del CO₂ del ambiente, unas de las ventajas que tendría este método en comparación a otros, además de ser relativamente sencilla y fácil de aplicar.

4.1 Tasa fotosintética e índice de clorofila

Se encontró una correlación significativa ($P \leq 0.05$) entre la tasa fotosintética y la clorofila, con una R que osciló entre los valores de 0.73 a 0.98.

4.2 Tasa fotosintética

No se encontró diferencia estadística de la fotosíntesis entre puntos cardinales en la misma hora del día. En *L. tridentata*, la tasa fotosintética en cada una de las hojas en dirección a cada uno de los cuatro puntos cardinales por cada hora de muestreo no fue significativamente diferente entre ellas, lo que indica que se puede determinar la tasa fotosintética de la gobernadora en una sola de las hojas con dirección a un solo punto cardinal. El mismo caso se presentó en las otras dos fechas de muestreo. En *P. glandulosa*, *L. graveolens* y *A. farnesiana* se observó la similar respuesta (Figura 10). La fotosíntesis fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) a las 12:00 pm respecto a las 8:00 am y 17:00 pm.

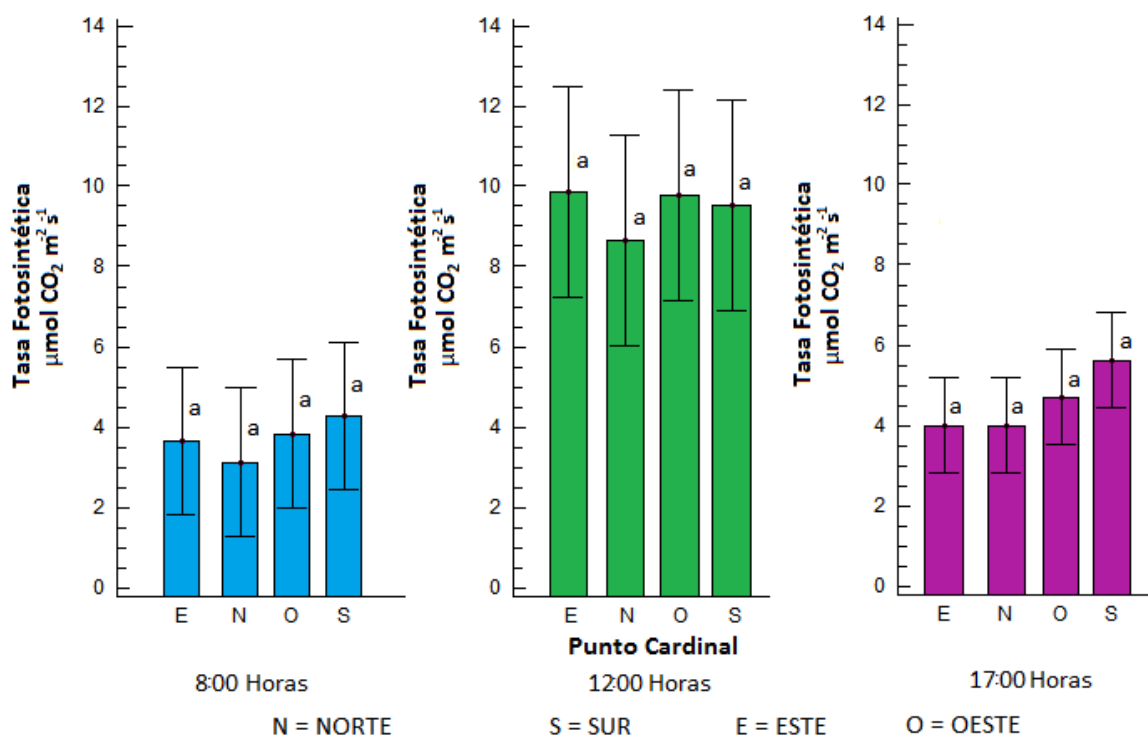


Figura 10.- Tasa fotosintética de hojas de gobernadora por cada punto cardinal en el mes de agosto en las tres horas de muestreo (8:00, 12:00 y 17:00).

La tasa fotosintética fue significativamente diferente entre especies y estuvo en los rangos de 5.90 a 11.84 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en *L. tridentata*, 5.21 a 11.73 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en *A. farnesiana*, 8.53 a 10.41 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en *P. glandulosa* y 10.41 a 13.49 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en *L. graveolens* dependiendo de la fecha de medición. Carmona *et al.* (2007) cuantificó en *P. glandulosa* su tasa fotosintética obteniendo un promedio de 12.67 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, siendo un valor similar al obtenido en éste estudio. Landeros *et al.* (2011) obtuvo una media general en la tasa fotosintética de *A. farnesiana* de 17.06 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, siendo éste valor mayor en comparación al obtenido en éste estudio para ésta especie.

4.3 Factores con efecto sobre la fotosíntesis

En las tres fechas de muestreo los factores especie, temperatura y radiación tuvieron efectos estadísticamente significativos sobre la fotosíntesis, excepto en el mes de agosto donde no se detectaron diferencias significativas de fotosíntesis para el factor radiación (Cuadro 2).

Cuadro 2.- Nivel de probabilidad por factor de estudio en fotosíntesis en las tres fechas de estudio

FUENTES DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	FECHA DE MUESTREO		
		AGOSTO	OCTUBRE	NOVIEMBRE
ESPECIE	3	0.0000 **	0.0091**	0.0000**
TEMPERATURA	1	0.0043**	0.0000**	0.0001**
RADIACION	1	0.0000**	0.9812 NS	0.0002**
HUMEDAD DEL SUELO	1	0.4430 NS	0.2053 NS	0.5748 NS

Factores con una probabilidad $P \leq 0.05$ tienen un efecto estadísticamente significativo

** Altamente significativo, NS no significativo

El efecto no significativo que hubo sobre la fotosíntesis por la radiación en el mes de octubre, se pudo deber a que el día en que se tomaron las mediciones en el mezquite, la temperatura era inferior a comparación de las otras tres especies, por lo que los resultados de una baja constante tasa fotosintética en el mezquite en esa fecha se debió más a la baja temperatura y no tanto a la radiación. Es sabido que, el mezquite regula su actividad fotosintética a la baja cuando las temperaturas son bajas (Castellano *et al.*, 2006).

El factor de la humedad del suelo no tuvo efectos estadísticamente significativos sobre la fotosíntesis, esto se puede deber a que las raíces de las cuatro especies estudiadas poseen un sistema radicular más profundo que los 60 cm en que se analizó la humedad del suelo, como es el caso de la *L. tridentata* cuya raíz principal se extiende a una profundidad de aproximadamente 80 cm (Marshall, 1995), mientras el mezquite su raíz principal puede alcanzar profundidades de más de 50 m (INE, 2007^a), por lo tanto la profundidad en que se tomó la muestra no representó la profundidad en donde la raíz principal toma el agua del subsuelo. El valor de la humedad del suelo a 60 cm de profundidad en las especies analizadas osciló entre los valores de 4.08-8.86% con base en peso seco.

4.4 Tasa fotosintética en las cuatro especies de estudio

En el mes de agosto la tasa fotosintética fue significativamente mayor en *P. glandulosa* y *L. graveolens* que en *A. farnesiana* y *L. tridentata*. En el mes de octubre tendió a igualarse estadísticamente la tasa fotosintética, ya que solamente *L. graveolens* tuvo una significativamente mayor tasa de fotosíntesis que *A. farnesiana*. En noviembre la tasa fotosintética tendió a bajar en todas las especies excepto en *P. glandulosa*. La tasa fotosintética en *L. graveolens* medida en el mes de noviembre fue significativamente menor que en las otras tres especies. Esto se puede deber a que en los meses de agosto y octubre el orégano está en su fase de crecimiento, lo que ocasiona que se crea nueva biomasa y haya una máxima de captura de CO₂ (Mota *et al.*, 2009), mientras que en el mes de noviembre se deba el descenso de captura de carbono porque está entrando a su fase de dormancia.

En el *P. glandulosa* se puede observar que la dinámica de fotosíntesis en el mes de octubre fue diferente a la observada en *A. farnesiana*, *L. graveolens* y *L. tridentata* (Cuadro 3). El descenso de la tasa fotosintética de *P. glandulosa* en el mes de octubre se puede atribuir a que se presentó una baja temperatura en la fecha de muestreo. A temperaturas bajas, el mezquite fotoinhibe su actividad fotosintética (Castellano *et al.*, 2006).

Cuadro 3.- Tasa de fotosíntesis en cuatro especies nativas de zonas áridas y tres diferentes fechas del año durante el 2013

ESPECIE	FOTOSINTESIS ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) Media $\pm$ SD		
	AGOSTO	OCTUBRE	NOVIEMBRE
<i>A. farnesiana</i>	5.21 $\pm$ 0.86 b	11.73 $\pm$ 1.17 ab	6.58 $\pm$ 1.03 b
<i>L. tridentata</i>	5.90 $\pm$ 0.55 b	11.84 $\pm$ 0.83 ab	8.13 $\pm$ 0.65 bc
<i>P. glandulosa</i>	9.84 $\pm$ 0.74 a	8.53 $\pm$ 1.11 b	10.41 $\pm$ 0.80 a
<i>L. graveolens</i>	11.82 $\pm$ 0.57a	13.49 $\pm$ 0.87 a	2.23 $\pm$ 0.61 c

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

4.5 Fotosíntesis y conductancia estomática

La conductancia varía entre las cuatro especies evaluadas, y ésta relacionada directamente con la capacidad fotosintética de la hoja. En general la mayor conductancia y tasas fotosintéticas fueron registradas en *L. graveolens* y *P. glandulosa* en el mes de agosto, en *L. graveolens* y *L. tridentata* en octubre y en *P. glandulosa* y *L. tridentata* en noviembre (Figuras 11, 12 y 13).

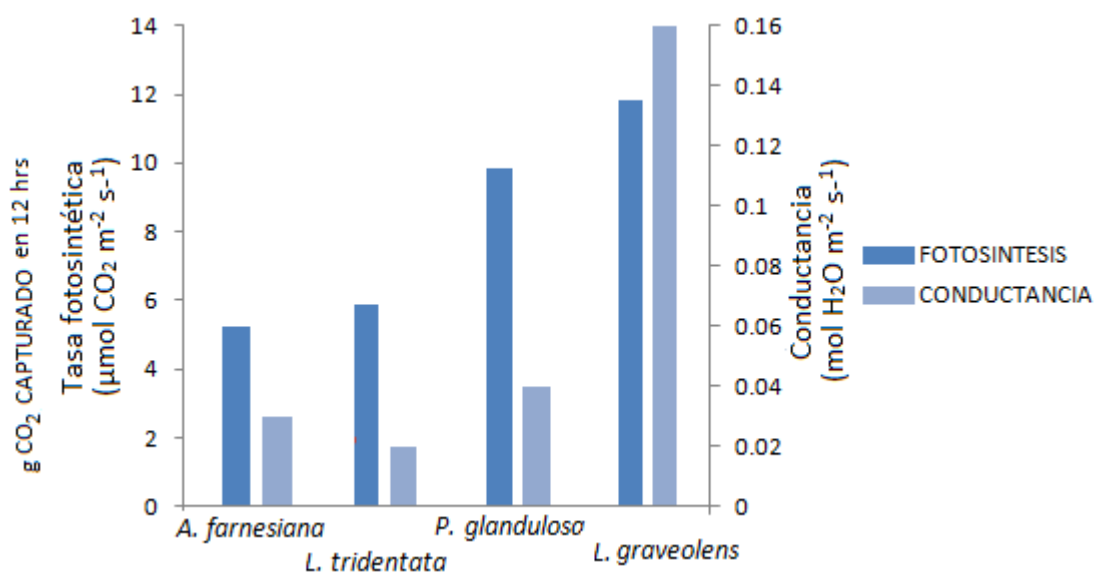


Figura 11.- Tasa fotosintética y conductancia en cuatro especies nativas de zonas áridas en agosto.

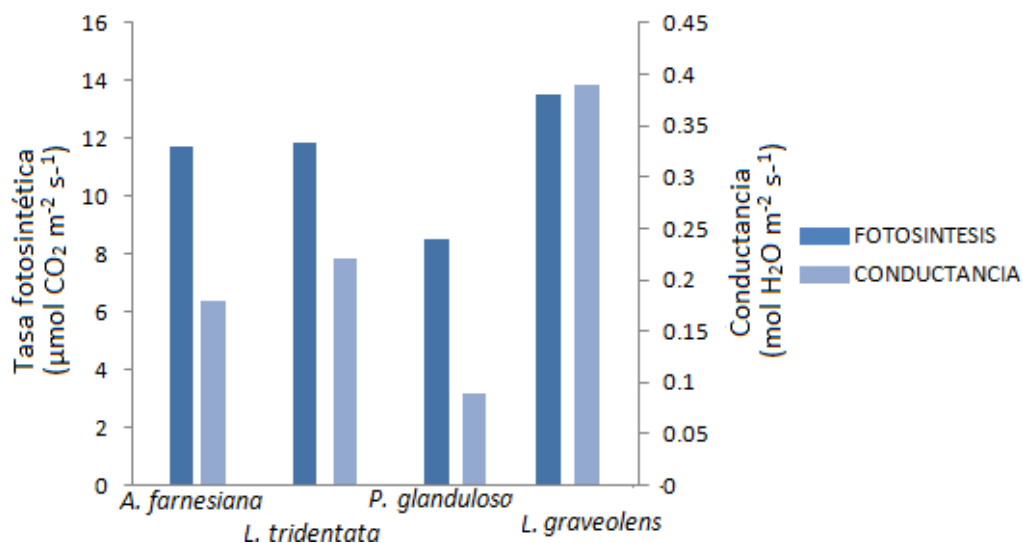


Figura 12.- Tasa fotosintética y conductancia en cuatro especies nativas de zonas áridas octubre.

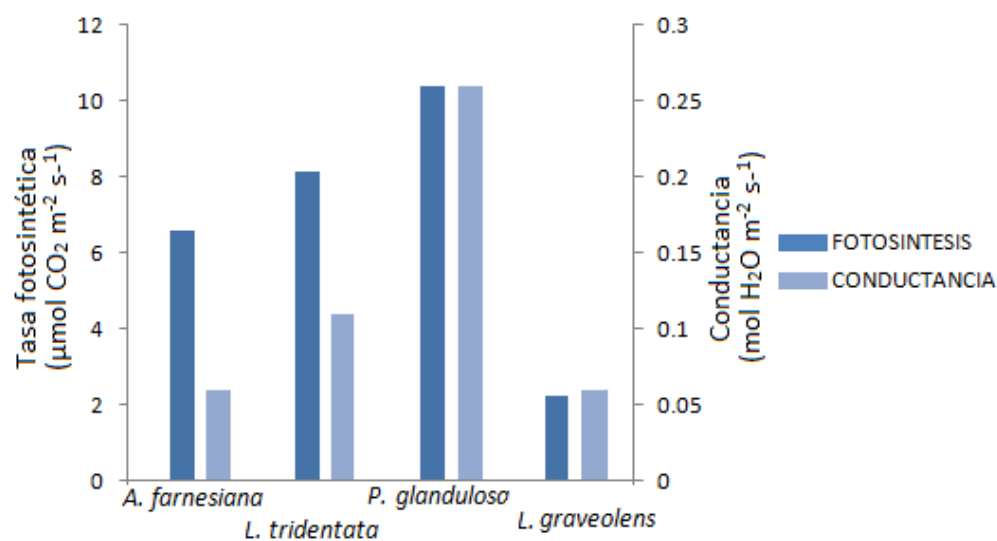


Figura 13. Tasa fotosintética y conductancia en cuatro especies nativas de zonas áridas noviembre.

4.6 Transpiración y conductancia

El análisis estadístico de correlación entre la transpiración y la conductancia en las tres fechas evaluadas, permitió identificar una alta correlación entre estas dos variables fisiológicas en cada una de las especies evaluadas en las tres fechas: agosto ($R=0.97$), octubre ($R=0.86$) y noviembre ($R=0.80$), con un nivel de significancia ≤ 0.05 . El comportamiento de la transpiración y la conductancia para cada una de las especies evaluadas, pudiendo identificar una similitud en el comportamiento de estas dos

variables en las cuatro especies (Cuadro 4 y 5). La pérdida de agua por transpiración a través de los estomas es la consecuencia inevitable de la apertura estomática para permitir la entrada de CO₂, de ahí que exista una estrecha relación entre la transpiración y conductancia estomática (García, 2012).

Cuadro 4.- Transpiración en cuatro especies nativas de zonas áridas y tres diferentes fechas del año durante el 2013

	TRANSPIRACIÓN mmol H₂O m⁻² s⁻¹ Media ± SD		
ESPECIE	AGOSTO	OCTUBRE	NOVIEMBRE
<i>L. tridentata</i>	0.99 ± 0.37 b	6.00 ± 0.11 b	2.94 ± 0.25 b
<i>A. farnesiana</i>	1.44 ± 0.11 b	3.20 ± 0.36 c	1.81 ± 0.18 c
<i>P. glandulosa</i>	1.84 ± 0.16 a	1.84 ± 0.29 c	4.11 ± 0.28 a
<i>L. graveolens</i>	5.38 ± 0.60 a	8.36 ± 0.54 a	1.68 ± 0.21 c

Prueba de Tukey (P≤0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

Cuadro 5.- Conductancia en cuatro especies nativas de zonas áridas y tres diferentes fechas del año durante el 2013

	CONDUCTANCIA mol H₂O m⁻² s⁻¹ Media ± SD		
ESPECIE	AGOSTO	OCTUBRE	NOVIEMBRE
<i>L. tridentata</i>	0.02 ± 0.001 b	0.22 ± 0.007 b	0.11 ± 0.009 b
<i>A. farnesiana</i>	0.03 ± 0.003 b	0.18 ± 0.02 cb	0.06 ± 0.004 b
<i>P. glandulosa</i>	0.04 ± 0.004 b	0.09 ± 0.01 c	0.26 ± 0.03 a
<i>L. graveolens</i>	0.15 ± 0.019 a	0.39 ± 0.04 a	0.06 ± 0.005 b

Prueba de Tukey (P≤0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

4.7 Índice de área foliar, cobertura total, área foliar total y estimación de CO₂ capturado en 12 horas

En el promedio del índice de área foliar en la *L. tridentata*, *L. graveolens* y *A. farnesiana* se observa que aumentaron conforme el paso de los meses, mientras que en *P. glandulosa* en las fechas de muestreo de agosto y octubre se mantuvo igual, mientras que en el mes de noviembre se presentó una ligera disminución (Cuadro 6).

La cobertura total de la *L. tridentata* y *A. farnesiana* se observó que fue incrementando conforme el paso de los meses, mientras que la *L. graveolens* se observa que incremento su cobertura en el mes de octubre comparándolo con el mes de agosto pero disminuye en el mes de noviembre comparándolo con el mes de octubre. *P. glandulosa* se observó que fue descendiendo su cobertura total al paso del tiempo.

El área foliar total de la *L. tridentata* y *A. farnesiana* fue aumentando a través del tiempo, mientras el *L. graveolens* incremento su área foliar en el mes de octubre en comparación con el mes de agosto, pero tendió a disminuir en el mes de noviembre. Para la *P. grandulosa* se observó que fue disminuyendo su área foliar total a través de las fechas de muestreo.

Cuadro 6.- Índice de área foliar, cobertura vegetal y área foliar estimada en diferentes especies de vegetación nativa de zonas áridas, en tres períodos de evaluación durante el 2013.

Especie	Individuos	Agosto			Octubre			Noviembre		
		IAF promedio	Cobertura total (m ²)	Área foliar total (m ²)	IAF promedio	Cobertura total (m ²)	Área foliar Total (m ²)	IAF promedio	Cobertura total (m ²)	Área foliar total (m ²)
<i>L. tridentata</i>	7	0.74	5.99	4.61	0.81	11.79	9.77	0.91	12.87	11.79
<i>L. graveolens</i>	7	0.80	3.08	2.68	0.83	10.12	8.55	0.89	7.77	7.13
<i>A. farnesiana</i>	3	1.54	23.64	36.47	1.56	27.37	43.73	1.57	27.86	44.84
<i>P. glandulosa</i>	4	1.36	22.72	33.82	1.36	19.17	27.73	1.30	18.15	25.48

En las cuatro especies vegetales analizadas se puede observar que cada una de ellas tiene diferente comportamiento de captura de CO₂, esto se le atribuye a que dicha capacidad de capturar el carbono está en función de la composición, densidad, edad vegetal y a las condiciones ambientales. En apreciación numérica, *A. farnesiana* mostró tener una mayor actividad de captura de carbono durante el mes de octubre, siguiéndole en importancia *P. glandulosa*, pero en el mes de agosto; en tanto que *L. tridentata* y *L. graveolans*, tuvieron una muy baja capacidad de captura en las tres fechas de muestreo, debido a la baja cantidad de cobertura foliar que tienen comparada con *P. glandulosa* y *A. farnesiana* (Figura 14).

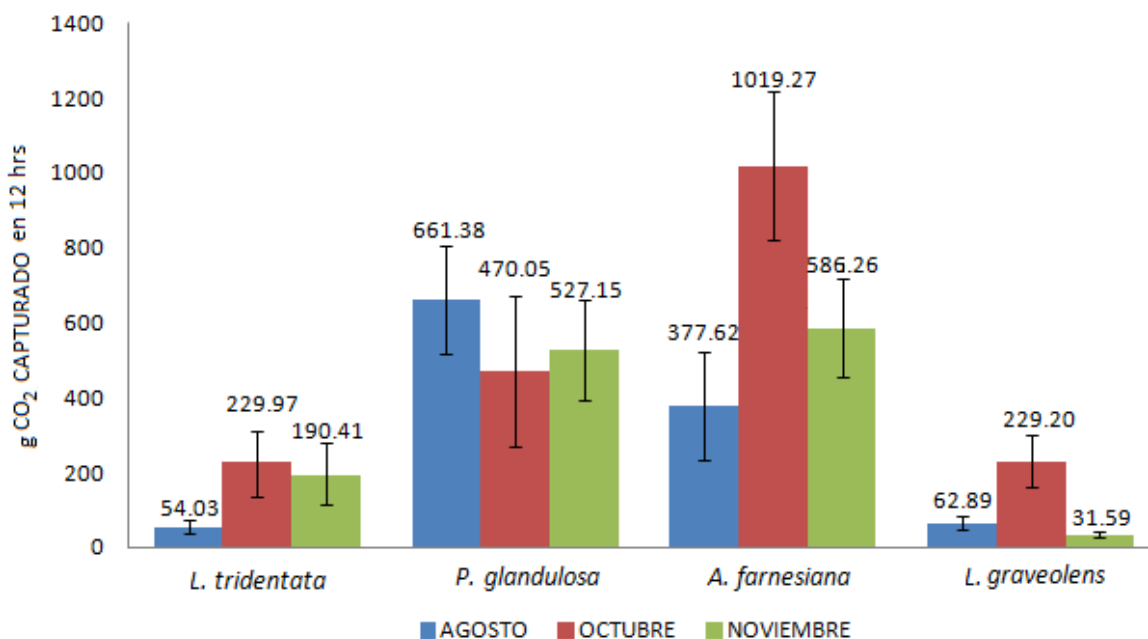


Figura 14.- Estimación de captura de CO₂ en 12 horas de las cuatro especies en las tres fechas de muestreo.

4.9 Curvas de respuesta a diferentes concentraciones de CO₂

La respuesta en la tasa fotosintética que tienen las cuatro especies vegetales a diferentes concentraciones de CO₂, se observa que a mayor concentración de CO₂ incrementa la tasa fotosintética, pero también se observa que la respuesta al incremento de CO₂ es diferente en cada una de las fechas. Esto se debe a que en las fechas de agosto se observa mayor la tasa fotosintética porque las especies vegetales están en fase de crecimiento,

mientras que en los meses de octubre y noviembre se presenta una disminución en la tasa fotosintética porque los días son más cortos y tienen menos horas de luz por lo que su crecimiento se va deteniendo y van entrando las especies vegetales en su fase de reposo. En general se observa que el aumento de las concentraciones de CO₂ beneficiara en aumentar la tasa fotosintética en las especies vegetales, pero los beneficios que se esperan de un incremento de CO₂ dependen de otros factores que también afectan el desarrollo vegetal (Figuras 15, 16, 17 y 18). El beneficio es máximo cuando otros factores como los nutrientes, la temperatura o la disponibilidad de agua son óptimos y cuando no existen problemas de patógenos y herbívoros (Pérez, 2014)

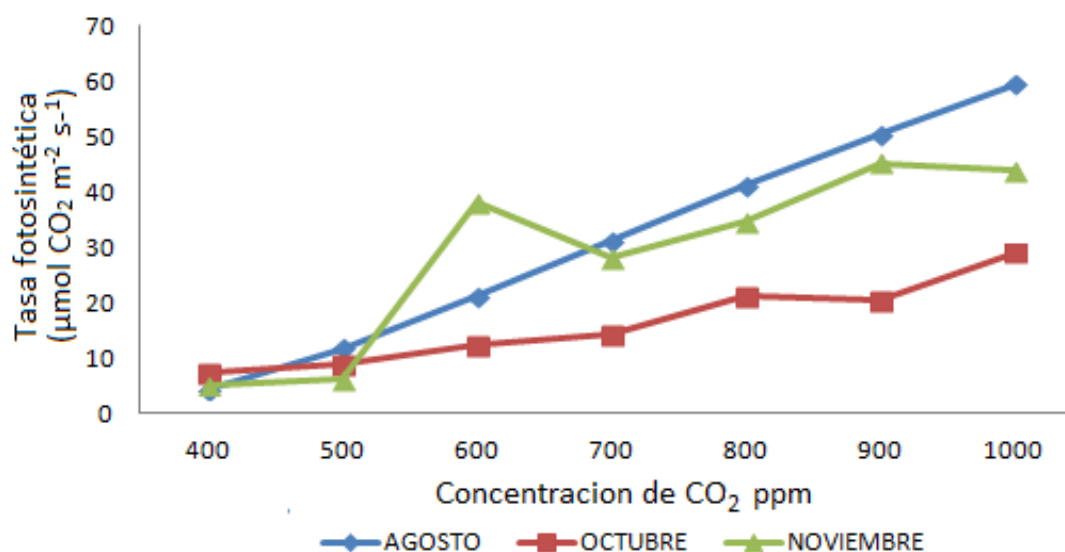


Figura 15.- Curvas de respuesta a diferentes concentraciones de CO₂ en *L. tridentata*

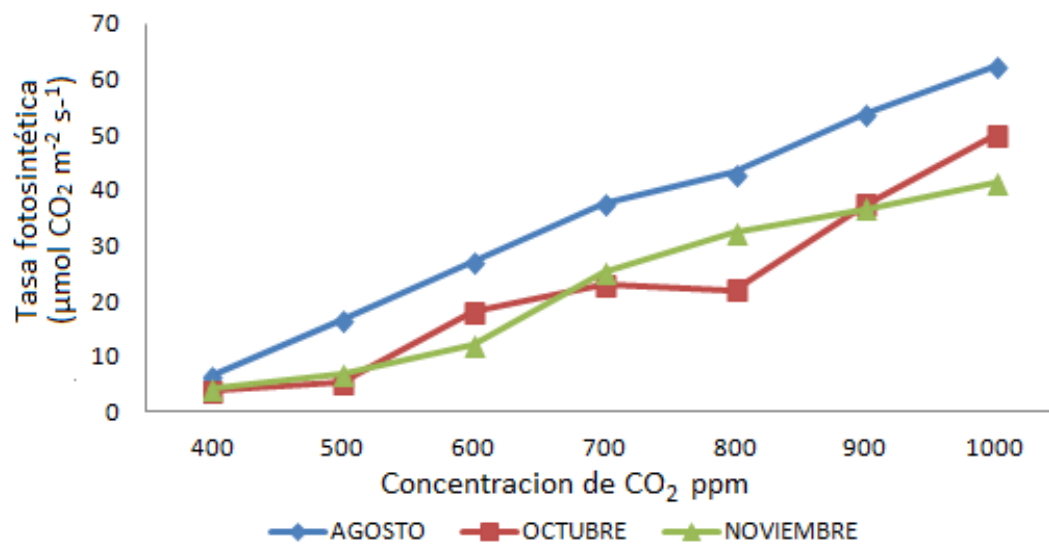


Figura 16.- Curvas de respuesta a diferentes concentraciones de CO₂ en *A. farnesian*.

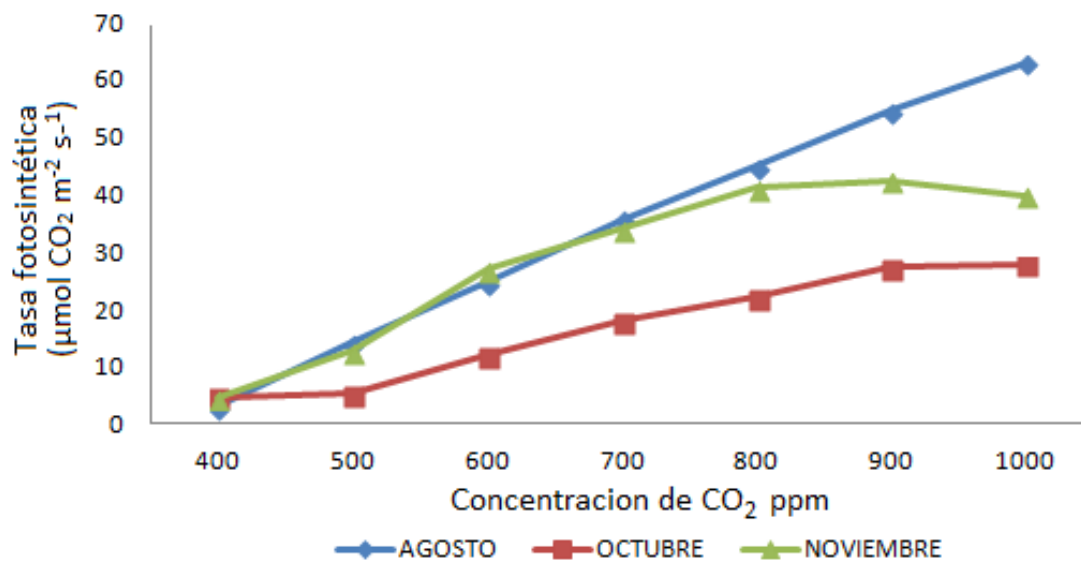


Figura 17.- Curvas de respuesta a diferentes concentraciones de CO₂ en *P. glandulosa*.

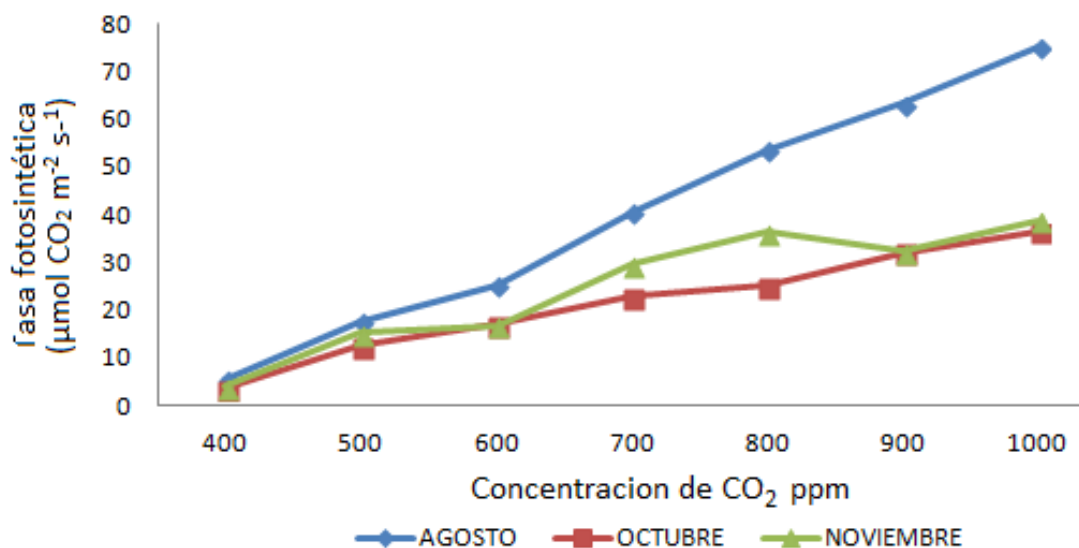


Figura 18.- Curvas de respuesta a diferentes concentraciones de CO_2 en *L. graveolens*.

En general las cuatro especies tienen una respuesta positiva al incremento en la concentración de CO_2 en el aire. Sin embargo, se puede identificar la *L. graveolens* que tiene una mejor respuesta de aumento en su tasa fotosintética al incremento de CO_2 (figura 19).

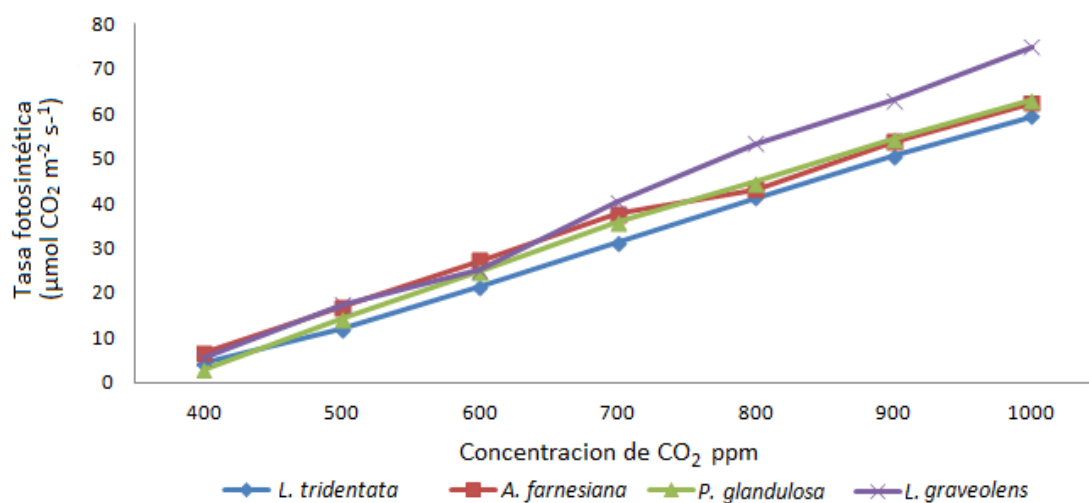


Figura 19.- Curvas de respuesta en la tasa fotosintética de las cuatro especies a diferentes concentraciones de CO_2 en el mes de agosto.

V. CONCLUSIONES

El cuantificar la cantidad de asimilación de CO₂ de las especies vegetales mediante la medición de la tasa fotosintética, el índice de área foliar y la cobertura seria un método fácil de aplicar, relativamente sencillo y amigable con el ambiente puesto que no se demolería ninguno de los ejemplares para realizar la cuantificación. .

No se encontraron diferencias significativas en la captura de CO₂ en cada una de las hojas de la *A. farnesiana*, *P. glandulosa*, *L. tridentata* y *L. graveolens*, por lo que se puede realizar la medición de la tasa fotosintética en una sola de las hojas en dirección a uno de los puntos cardinales.

El Índice de Área Foliar cambió a través del tiempo en cada una de las especies, y en general en *A. farnesiana* y *P. glandulosa* presentaron los valores más altos (1.55 y 1.33, respectivamente).

La mayor tasa de captura de carbono estimada fue mayor en *P. glandulosa* (470.05 a 661.38 g CO₂ día⁻¹) y *A. farnesiana* (377.62 a 1019.27 g CO₂ día⁻¹), comparada con la de *L. tridentata* y *L. graveolens*

Como recomendación para futuros estudios se debería aumentar el número de muestreo.

VI. LITERATURA CITADA

- Aguilar M, X; Valle M, G; González R, G; Murillo A, B. (2013). Guía de cultivo de orégano. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Publicación CIB. Baja California Sur, México. Pp 99.
- Alfaro B, J.M; Limón R, B; Martínez T, G.A. (2014). Ambiente y sustentabilidad: por una educación ambiental. Grupo editorial patria, S.A de C.V. México. Pp 127-128
- Andrade, H. J; Ibrahim M., (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?. *Agroforesteria en las Américas*. 10. Pp 39-40.
- Arcila C, C; Loarca G; Lecona S; González E. (2004). El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. *ALAN*. 54(1). Pp 100-111
- Arteaga S; Andrade A; Cárdenas R. (2005). Larrea tridentata (Creosote bush), an abundant plant of Mexican and US-American deserts and its metabolite nordihydroguaiaretic acid. *Journal of Ethnopharmacology*. 98. Pp 231-239
- Azcón B, J; Talón M. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana. Segunda edición. Barcelona, España. Pp 249.
- Baird C. (2004). Química ambiental. Reverte S A. España. Pp 194. [Disponible]<http://books.google.es/books?id=bgUaHUqGPYIC&pg=PA194&dq=vapor+de+agua+gas+de+efecto+invernadero&hl=es&sa=X&ei=o7CLU56FHO-g7AaAkIDoBQ&ved=0CEcQ6AEwAg#v=onepage&q=vapor%20de%20agua%20gas%20de%20efecto%20invernadero&f=false> [acceso 8 mayo 2014].
- Barros, V; Clarke, R; Silva D, P. (2006). El cambio climático en la cuenca del Plata. CONICET. Argentina. Pp 232.
- Barrientos R, L; Vargas R, J; Rodríguez R, A; Ochoa R, H. G; Navarro A, F; Zorilla, J. (2012). Evaluación de las características del fruto de huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) para su posible uso en curtiduría o alimentación animal. *Madera y Bosques*. 18(3). Pp 23-35.
- Becerril P, R; González S, E; Mastachi L, C. A; Díaz D, C; Ramos S, N. M. (2014). Contenido de carbono en un ecosistema semiárido del centro de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 1(1). Pp 9-18.
- Caballero, M; Lozano, S; Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *DGSCA-UNAM*. 8 (10). Pp 1-12
- Campbell, N; Reece, J. (2007). Biología. Medica Panamericana. Séptima edición. Madrid, España. Pp 184. [Disponible]<http://books.google.com.mx/books?id=QcU0yde9PtK&pg=PA184&dq=fotosintesis+fase+luminosa&hl=es&sa=X&ei=RURDVLT6lfqiQKnv4D4BA&ved=0CCEQ6AEwAQ#v=onepage&q=fotosintesis%20fase%20luminosa&f=false> [acceso 4 junio 2014]

Camps A, M; Pinto, M. (2004). Los sumideros de carbono en el marco del Protocolo de Kioto. *Edafologia*. 11(1). Pp 27-36.

Carvajal, M; Mota, C; Alcaraz L, C; Iglesias, M; Martínez B, M. (2010). Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos de la región de Murcia. CSIC. Murcia, España. Pp 1-41.

Carmona H, D; Trejo C, R; Esquivel A, O; Arreola A, J. G; Flores H, A. (2007). Evaluación de un método para medir fotosíntesis en Mezquite (*Prosopis glandulosa*) empleando un medidor portátil. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 6. Pp 185-190.

Castellano P, G; Castellano P, E; Blando N, J. L. (2006). Determinación de la productividad del matorral microfilo en pasaje, municipio de Cuencame, Durango. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 5. Pp 35-40.

Cayetano G. P; Cayetano G. C. (2009). La actuación frente al cambio climático. Editum. España. Pp 45-46.

Convenio sobre la Diversidad Biológica. (CBD). (2010). Tierras áridas y subhúmedas. PNUMA. <http://www.cbd.int/iyb/doc/prints/factsheets/iyb-cbd-factsheet-drylands-es.pdf> [acceso 6 marzo 2014]

Celaya M, H; Castellanos V, A. E. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*. 29 (3). Pp 343-356.

Cervantes R, M. C. (2002). Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. *UNAM, Instituto de Geografía*. Pp 55-56

Cervantes R, M. C. (2005). Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. *Universidad de São Paulo*. Pp 3388-3407

CITA. (2008). Estudio sobre la funcionalidad de la vegetación leñosa de Aragón como sumidero de CO₂: existencias y potencialidad (estimación cuantitativa y predicción de fijación).

[Disponible]http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/MedioAmbiente/Areas/03_Cambio_climatico/06_Proyectos_actuaciones_Emisiones_GEI/estudio.pdf [acceso 8 mayo 2014]

Coatzín R, R. (2011). Evaluación de sistemas de producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México.

Collins, G; Melosh, H; Marcus, R. (2005). Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth. *Meteoritics & Planetary Science*. 40(6). Pp 817-840.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2010). Catálogo de contenido de carbono en especies forestales de tipo arbóreo del noreste de México. [Disponible] www.conafor.gob.mx/biblioteca/fichas_de_contenido_de_carbono1.pdf [acceso 8 mayo 2014]

Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). (2011). Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas en América del Norte. [Disponible] <http://www2.cec.org/site/PPE/es/emisiones-de-contaminantes/gases-de-efecto-invernadero-0> [acceso 8 mayo 2014].

Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). (2009). Catálogo taxonómico de especies de México. [Disponible] <http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/conocimientoActual.html> [acceso 08 mayo 2014].

Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Extremadura. (2010). Inventario de sumideros de carbono de Extremadura. [Disponible] http://extremambiente.gobex.es/files/biblioteca_digital/SumiderosCO2Extremadura.pdf [acceso 8 mayo 2014].

David Suzuki Foundation. (2014). Forests and sinks. [Disponible] <http://www.davidsuzuki.org/issues/climate-change/science/climate-change-basics/forests-and-sinks/> [acceso 8 mayo 2014]

Davies, J; Poulsen, L; Schulte, B; Mackinnon, K; Crawhall, N; Henwood, W; Dudley, N; Smith, J; Gudka, M. (2012). Conserving Dryland Biodiversity. UNCCD. Pp 15.

Díaz, M. (2007). Estudio empírico de las causas subyacentes en la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental: influencia de factores exógenos y análisis de descomposición. Universidad Santiago de Compostela. Pp 267 [Disponible] http://books.google.es/books?id=rwr96JjbtNYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false [acceso 10 junio 2014]

Doménech J, L. (2007). Huella ecológica y desarrollo sostenible. AENOR. España. Pp 123

Domínguez T. G; Ramírez R; Estrada A, E; Scott L, M; González, R; Alvarado, M. (2012). Importancia nutricional en plantas forrajeras del matorral espinoso tamaulipeco. *CIENCIA UANL*. 15(59). Pp 77-93

Duarte, C.M. (2006). Cambio global impacto de la actividad humana sobre el sistema. CSIC. Madrid. Pp 194. [Disponible] <http://www.ciudadciencia.es/doc/files/cambioGlobal.pdf> [acceso 8 mayo 2014]

EOL. (2013). Species recognized by Species 2000 & ITIS Catalogue of Life: April 2013. [Disponible] http://eol.org/pages/581850/hierarchy_entries/53001868/overview [acceso 25 marzo 2014]

EPA. (2012). Carbon sequestration through reforestation a local solution with global implications. [Disponible]<http://www.epa.gov/aml/revital/cseqfact.pdf> [acceso 8 mayo 2014]

Ernst, W. G. (2002). Earth Systems. Cambridge University. United States of America. Pp 246.

Escalante C, L; Trejo C, R; Esquivel A, O; Arreola A, J. G; Flores H, A. (2008). Comparación de tasas fotosintéticas en algunas plantas cultivadas y malezas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 7. Pp 166-172.

Estrada P, M. (2001). Cambio climático global: causas y consecuencias. *Revista de información y análisis*. 16. Pp 7-17

Evans, R. D; Koyama, A; Sonderegger, D. L; Charlet, T. N; Newingham, B. A; Fenstermaker, L. F; Harlow, B; Jin, V. L; Ogle, K; Smith, S. D; Nowak, R. S. (2014). Greater ecosystem carbon in the Mojave Desert after ten years exposure to elevated CO₂. *Nature Climate Change*. 4. Pp 394-397.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2010). La gestión de los bosques ante el cambio climático. [Disponible] <http://www.fao.org/docrep/014/i1960s/i1960s00.pdf> [acceso 8 mayo 2014]

Food and Agriculture Organization (FAO). (2012). Consecuencias del cambio climático. [Disponible] <http://www.fao.org/docrep/017/i2498s/i2498s04.pdf> [acceso 26 marzo 2014]

Food and Agriculture Organization (FAO). (2003). Silvicultura en zonas áridas. [Disponible] <http://www.fao.org/docrep/n8595s/n8595s03.htm> [acceso 8 mayo 2014]

Fernández, J. (2010). El recurso suelo-agua en medios áridos y semiáridos. CSIC. Madrid, España. Pp 143-149

Figueroa, M., Redondo S. (2007). Los sumideros naturales de CO₂ una estrategia sostenible entre el cambio climático y el Protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial. Muñoz Moya Editores Extremeños. Sevilla, España. Pp 79-80.

Flores R, E. (2009). Potencial productivo del orégano (*Lippia graveolens* HBK.) y calidad de su aceite esencial en dos localidades de El Mezquital, Dgo. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR-IPN-DURANGO. Victoria de Durango, México. Pp 130.

Flores M, H. (2011). Las zonas áridas y semiáridas de México, las menos exploradas. Boletín UNAM-DGCS-763.

Fondo para el Medio Ambiente Mundial (2009). Invertir en la protección de la tierra. Los esfuerzos del FMAM para combatir la degradación de tierras y la desertificación en todo el mundo.

[Disponible]http://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/publication/Land_SP.pdf
[acceso 26 marzo 2014]

Food and Agriculture Organization (FAO). (2010). La gestión de los bosques ante el cambio climático. [Disponible] www.fao.org/docrep/014/i1960s/i1960s00.pdf [acceso 8 mayo 2014]

García C, J.C. (2011). Las plantas del desierto: adaptación y oportunismo. [Disponible]<http://ocw.unican.es/ciencias-sociales-y-juridicas/biogeografia/materiales/tema-5/5.2.1-las-plantas-del-desierto-adaptacion-y>. [acceso 24 febrero 2015]

García C. (2012). Ecología forestal: Estructura, funcionamiento y producción de las masas forestales.

García V, J; Fernández M, M. (2006). Mitigación del cambio climático mediante la captura de carbono. *Grupo Arrayanes S.A.* Argentina.

Greater Manchester Waste Disposal Authority (GMWDA). (2009). Climate Change Action Plan 2009-2012. [Disponible]http://www.gmwda.gov.uk/clientfiles/File/gmwda_climate_change_action_plan.pdf [acceso 26 marzo 2014]

González M. F. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. INE-SEMARNAT. México, D.F. Pag 120,148

González J, L. (2010). C4 y CAM. Características generales y uso en programas de desarrollo de tierras áridas y semiáridas. CSIC. Pp 198

González E, M; Jurado, E; González E, S; Aguirre C, O; Jiménez P, J; Navar, J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *CIENCIA UANL*. 6(3). Pp 377-386

Gordillo D, F; Zarate R, F; Mejía M, C; Rivera P, L; Ariza C, H. (2008). Análisis de la actividad fotosintética de plantas de café utilizando la técnica foto acústica. *Revista Colombiana de Física*. 40(1). Pp 186-189.

Gornitz, V. (2009). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments. Springer. Netherlands. Pp 62 and 392.

Granados S, D; Matinés S, M; López R, G; Borja R, A; Rodríguez Y, G. (2013). Ecología, aprovechamiento y comercialización del orégano (*Lippia graveolens* H.B.K) en Mapimi, Durango. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 19(2). Pp 305-321

Granados S, D; Sánchez G, A; Granados V, R. L; Borja R, A. (2011). Ecología de la vegetación del desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17. Pp 111-130.

Gratzfeld, J. (2004). Industrias extractivas en zonas áridas y semiáridas - Planificación y gestión ambientales. UICN: Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. Pp 10-15.

GREENPEACE. (2010). México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptaciones. [Disponible]<http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2010/6/vulnerabilidad-mexico.pdf> [acceso 26 marzo 2014]

Gutiérrez P, C; Gutiérrez C, C. (2009). La actuación frente al cambio climático. Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones. Pp 333

Herrán, C. (2009). El cambio climático y sus consecuencias para América Latina. [Disponible] <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-energiayclima/09164.pdf> [acceso 8 mayo 2014]

Hontoria, C; Rodríguez M, J. C; Saa, A. (2004). Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España Peninsular. *EDAFOLOGIA*. 11(2). Pp 149-157.

Instituto Nacional de Ecología (INE). (2007^a). Usos y propiedades. [Disponible]<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/72/ usos.html> [acceso 26 marzo 2014]

Instituto Nacional de Ecología (INE). (2007^b). Descripción de la planta. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/72/descrip.html>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2007). Cultivo.. [Disponible]<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/72/cultivo.html> [acceso 26 marzo 2014]

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2012). Zonas Ecológicas. [Disponible] www.inecc.gob.mx/con-eco-ch/387-hc-zonas-ecologicas [acceso 26 marzo 2014]

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2013). Reserva de la Biosfera de Mapimi. [Disponible] <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/2/mapimi.html>

Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES). (2012). Deriva continental. [Disponible]<http://ftp.inpres.gov.ar/docentes/Deriva%20continental.pdf> [acceso 8 mayo 2014]

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2002). Cambio Climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. CBD. [Disponible]<http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf> [acceso 26 marzo 2014]

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2005). Safeguarding the ozone layer and the global climate system. Seth White. United States of America. Pp 450.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007^a). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. [Disponible]http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq-2-1.html [acceso 08 mayo 2014]

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007^b). Climate Change 2007: Synthesis Report. [Disponible]http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf [acceso 26 marzo 2014] [acceso 08 mayo 2014]

ITIS. (2009). *Prosopis glandulosa*. [Disponible]http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=26879 [acceso 08 mayo 2014]

Karl, T; Trenberth, K. (2003). Modern global climate change. *Science*. 302(5651). Pp 1719-1723

Landeros M, O; Trejo C, R; Reveles H, M; Valdez C, R. V; Arreola A, J. G; Pedroza S, A; Ruiz T, J. (2011). Uso potencial del Huizache (*Acacia farnesiana* L. Will) en la fitorremediación de suelos contaminados con plomo. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17. Pp 11-20.

LI-COR (1992). LAI-2000 Plant canopy analyzer. Instruction manual. Lincoln, Nebraska. Pag 7-4.

Lira R, H. (2003). Estado actual del conocimiento sobre las propiedades biácidas de la Gobernadora Larrea tridentata (D.C.) Coville. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21(2). Pp 214-222

Liu, B; Zhao, W.Z; Wen, Z.J. (2012). Photosynthetic response of two shrubs to rainfall pulses in desert regions of northwestern China. *Photosynthetic*. 50 (1). Pp 109-119.

López, N. (2008). Biología y Geología. Editex. Pag 227. [Disponible]<http://books.google.com.mx/books?id=96CwyLCCvI8C&pg=PA227&dq=fotosíntesis+fase+oscura&hl=es&sa=X&ei=00RDVPraNJHDIQKChoGIBQ&ved=0CCUQ6AEwAg#v=onepage&q=fotosíntesis%20fase%20oscura&f=false> [acceso 26 marzo 2014]

Madinaveitia R, H. (2002). Plantas medicinales de la Comarca Lagunera. UAAAN.

Maicelo Q, J. (2012). Indicadores de sustentabilidad en función del suelo y retención de carbono en la biomasa de *Ceroxylon peruvianum* Galeano, Sanín y Mejía en la cuenca media del río Utcubamba, Amazonas, Perú. *Ecología aplicada*. 11(1). Pp 33-38.

Malagnoux M, Sene E.H, Atzmon N. (2007). Bosques, árboles y agua en las tierras áridas: un equilibrio delicado. *Unasyva*. 229 (58). Pp 24-28.

Maldonado A, L.J. (2012). Caracterización y usos de los recursos naturales de las zonas áridas.

<http://revistapecuaria.inifap.gob.mx/index.php/Forestales/article/viewFile/960/958>
[acceso 24 febrero 2015]

Mazuela, P. C. (2013). Agriculture in arid and semi-arid zones. *IDESIA*. 31(2). Pp 3-4.

Medina R, G; González C, G; Valencia C, C. M; Sánchez C, I; Villanueva D, J. (2005). Morfología y escarificación de la semilla de mezquite, huizache y ahuehuate. *Técnica Pecuaria en México*. 43(3). Pp 441-448.

Méndez G, J; Luckie N, S.L; Capó A, M.A; Nájera L, J.A. (2011). Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *P. pseudostrobus* Lindl., en Guanajuato, México. *Agrociencia*. 45(4). Pp 479-491.

Meza S, R; Osuna L, E. (2003). Estudio dasométrico del mezquite en la zona de las Pocitas, B.C.S. INIFAP.

Monroy A, A; Estevez T, J; García S, R; Ríos G, R. (2007). Establecimiento de plantas mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en un matorral xerófilo deteriorado. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 80. Pp 49-57.

Montes, J. (2001). Medio ambiente y desarrollo sostenible. Universidad Pontificia Comillas. España. Pp 100.
Disponible] <http://books.google.es/books?id=wbig4qCRQZAC&pg=PA100&dq=vapor+de+agua+gas+de+efecto+invernadero&hl=es&sa=X&ei=o7CLU56FHO-g7AaAkIDoBQ&ved=0CEIQ6AEwAQ#v=onepage&q=vapor%20de%20agua%20gas%20de%20efecto%20invernadero&f=false> [acceso 26 marzo 2014]

Moreno J, M. (2005). Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. UCLM. Toledo, España.

Moreno S, A; Urbina S, J. (2008). Impactos sociales del cambio climático en México. INE-PNUD. Creativa. México, D.F.

Mota, C; Alcaraz, C; Iglesias, M; Martínez, M. C; Carvajal, M. (2009). Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos de la región de Murcia. Consejo Superior de Investigación Científica.

NASA. (2011). The carbon cycle.
[Disponible] <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/> [acceso 8 mayo 2014]

NASA. (2013). Variabilidad solar y clima terrestre. [Disponible] http://ciencia.nasa.gov/ciencias-especiales/08jan_sunclimate/ [acceso 26 marzo 2014]

Naumburg, E; Housman, D; Huxman, T; Charlet, T; Loiks, M; Smith, S. (2003^a). Photosynthetic responses of Mojave Desert shrubs to free air CO₂ enrichment are greatest during wet years. *Global Change Biology*. 9. Pp 276-285.

Naumburg, E; Loiks, M; Smith, S. (2003^b). Photosynthetic responses of *Larrea tridentata* to seasonal temperature extremes under elevated CO₂. *New Phytologist*. 162. Pp 323-330.

NOAA. (2014). Global Greenhouse Gas Reference Network. [Disponible] <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends> [acceso 08 mayo 2014]

Ocampo V, R. V; Malda B, G. X; Suárez R, G. (2009). Biología reproductiva del orégano mexicano (*Lippia graveolens* Kunth) en tres condiciones de aprovechamiento. *Agrociencia*. 43(5). Pp 475-482.

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2009). Los principales gases de efecto invernadero llegan al nivel más alto jamás alcanzado desde la era preindustrial. [Disponible] http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/868_es.pdf [acceso 24 febrero 2015]

Ordoñez D, J. A.B. (2008). Como entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. *Ciencias*. 90. Pp 37-42.

Ordoñez, B. J., Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*. 7(1). Pp 3-12.

Orozco J, A; Cardona A, C; Araméndiz T, H. (2012). Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 15 (1). Pp 63-76

Ortiz, A; Riascos, L.; Somarriba, E. (2008). Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas*. 46. Pp 26-29

Otero S, M. (2013). Los árboles fijan CO₂ y contribuyen a frenar el cambio climático. [Disponible] <http://suite101.net/article/los-arboles-fijan-co2-y-contribuyen-a-frenar-el-cambio-climatico-a20545#.U9BIGJR5Nfs> [acceso 26 marzo 2014]

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). (2001). Third Assessment Report, Annex B: Glossary of Terms.

Pérez M, C; Bueno H, A; Feria O, M; Ruiz R, R. (2006). Noventa y cuatro años de la teoría de la deriva continental de Alfred Lothar Wegener. *INTERCIENCIA*. 31(7). Pp 536-543

- Pérez, R. (2014). El aumento del CO₂ atmosférico y su efecto sobre las plantas.
- Permia J, M; Fornés J,M. (2008). Cambio climático y agua subterránea visión para los próximos decenios. Instituto Geológico y Minero de España. España. Pp 2.
- Pidwirny, M. (2006). "Atmospheric Composition". *Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition*. [Disponible] <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7a.html> [acceso 08 mayo 2014]
- Pineda, M. (2012). Resúmenes de fisiología vegetal. Servicio de Publicaciones Universidad de Córdoba. 2ª Edición. Córdoba, España.
- Quero J. L; Marañón, T; Villar, R. (2004). Tasas de Fotosíntesis en plántulas de alcornoque y roble en distintos micrositios dentro del sotobosque. *Almoraima*. 31. Pp 101-110.
- Ramírez, A. R; Ruíz, A; Melo, V; Vargas, N. (2011). Huizache Acacia farnesiana L. Arbusto de zonas xerofitas con diferentes usos medicinales tradicionales. *Latinoamericana de química*. 38. Pp 114
- Ramírez, J. (2006). Corrientes oceánicas. *Revista 360°*. 2. Pp 1-9
- Reddy, A. R; Rasineni, G. K; Raghavendra, A. S. (2010). The impact of global elevated CO₂ concentration on photosynthesis and plant productivity. *Current Science*. 99(1). Pp 46-57.
- Rincón G, N; Olarte Q, M. A; Pérez N, J. C. (2012). Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 65 (1). Pp 6399-6405.
- Rodríguez I, C; Álvarez B, S; Marinone, S; Lara L, J. (2013). El golfo de California es una fuente de bióxido de carbono hacia la atmósfera. *Ciencias Marinas*. 39(2). Pp 137-150
- Rodríguez E, N; Rojo G, E; Ramírez, B; Martínez, R; Cong, M; Medina S, M; Piña H, H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite en México. *Ra Ximhai*. 10(3). Pp 173-193.
- Rojas, F; Torres, G. (2012). Aroma (Acacia farnesiana). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. 9(22). Pp 66-67
- SAGARPA. (2010). Indicadores del cambio climático. [Disponible]<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/cambioclimatico/Indicadores%20agroambientales.pdf> [acceso 08 mayo 2014]
- Salas, J. D. (2000). Hidrología de zonas áridas y semiáridas. *Ingeniería del agua*. 7(4). Pp 409-429
- Sánchez, O; Medellin, R; Aldama, A; Goettsch, B; Soberón, J; Tambutti, M. (2007). Método de evaluación del riego de extinción de las especies silvestres en México (MER). *INE-SEMARNAT*. México. Pag 93

Saugier, B; Pontailier, J. Y. (2006). El ciclo global del carbón y sus consecuencias en la fotosíntesis en el Altiplano boliviano. *Ecología en Bolivia*. 41 (3). 71-85

SEMARNAT. (2009). Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. [Disponible]http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio_climatico_09-web.pdf [acceso 26 marzo 2014]

Tarango A, L. (2005). Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 4(2). Pp 17-22.

Target Asesores, S.L., Innovación y Cualificación, S.L. (2014). Experto en gestión ambiental. IC Editorial. Pp 724.

Thomas, D. (2011). Arid Zone Geomorphology Process, From and Change in Drylands. Third Edition. WILEY-BLACKWELL.USA. Pp 132.

UNESCO. (2007). Fauna [Disponible] <http://www.unesco.org/mab/doc/ekocd/spanish/chapter9.html> [acceso 08 mayo 2014]

UNL. (2009). Las plantas de ambientes secos. [Disponible]<http://www.unl.edu.ar/recorriendosantafe/wp-content/uploads/2009/08/recorriendo-santa-fe-ficha-4.pdf> [acceso 08 mayo 2014]

Vergara S, M. A; Etchevers B, J. D; Vargas H, M. (2004). Variabilidad del carbono orgánico en suelos de ladera del sureste de México. *Terra Latinoamericana*. 22(3). Pp 359-367

Vicente, B. (2006). El Cambio Climático Global ¿Cuántas catástrofes antes de actuar? Libro del Zorzal. 2 Edición. Buenos Aires. Pp 16

Villavicencio G, E. E; Cano P, A; García C, X. (2010). Metodología para determinar las existencias de orégano (*Lippia graveolens* H. B. K.) en rodales naturales de Parras de la Fuente, Coahuila. INIFAP. México, D.F. Pag 3.

Zamora, C. (2011). Crisis rural, Cambio Climático y Pobreza: Hacia la búsqueda de alternativas para la definición de Políticas Públicas en México. Oxfam México. México, D.F. Pag 18

Zamora, N. (2000). Acacia farnesiana. [Disponible]http://darnis.inbio.ac.cr/ubis/FMPro?-DB=ubipub.fp3&-lay=WebAll&-error=norec.html&-Format=detail_print.html&-Op=eq&id=1447&-Find [acceso 26 marzo 2014]

Zermeño G, A; Ríos E, A.R; Gil M, J. A; Cadena M, Z; Villareal Q, J.A. (2011). Dinámica del flujo de bióxido y de energía sobre un pastizal natural del norte de México. *Bioagro*. 23(1). Pp 35-42.