

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



**Asimilación de CO₂ y parámetros relacionados en especies
ornamentales *Kalanchoe (K. blossfeldiana)* y *Geranio (Geranium sp.)***

Por:

LUIS ALBERTO NÁJERA CALVO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre de 2007.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

**Asimilación de CO₂ y parámetros relacionados en especies
ornamentales *Kalanchoe (K. blossfeldiana)* y *Geranio (Geranium sp.)***

Por:

LUIS ALBERTO NÁJERA CALVO

Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador Como

Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada Por:

PRESIDENTE DEL JURADO

SINODAL

Dra. Norma Angélica Ruíz Torres

Ing. José Ángel de la Cruz Bretón

SINODAL

SINODAL

Dr. Froylán Rincón Sánchez

M.C. Myrna Julieta Ayala Ortega

**Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre de 2007.

DEDICATORIA

Este trabajo es muy especial y significa mucho para mi, ya que con él culmino una etapa mas de mi vida y el cual quiero dedicarle con mucho amor, respeto, cariño y sobre todo con mucha humildad al ser mas divino, compasivo y misericordioso, al que es un ejemplo a seguir y el que sin su ayuda no seriamos nada a:

A ***DIOS Padre Celestial***, gracias por regalarme la vida, el pan de cada día, por haberme permitido terminar una etapa más en mis estudios y haberme guiado por el camino de la luz, permíteme Señor ofrecerte este trabajo y con tu ayuda poder ayudar a los que mas lo necesitan.

A MIS PADRES:

José Humberto Nájera Solórzano
Guillermina Calvo Hernández

Por ser el regalo mas hermoso que DIOS me ha dado, por que gracias a DIOS y a ellos me regalaron la vida, gracias por su amor, su cariño, comprensión, por sus sabios consejos y la confianza que pusieron en mi, y que con mucho sacrificio y lucha me apoyaron a culminar una de mis metas en la vida, gracias por hacer de mi una persona de bien y creo que con decir gracias es muy poco para agradecerles todo lo que han hecho por mi por eso les digo DIOS los bendiga siempre y los quiero mucho.

A MIS HERMANOS:

José Armando Nájera Calvo
Dalia Carolina Nájera Calvo
Nayver de Jesús Nájera Calvo

Por ser otro de los regalos tan lindos que DIOS me ha dado, gracias por su amor, cariño, comprensión, por la confianza y apoyo que me brindaron y quiero decirles que los quiero mucho y que siempre los llevo en mi corazón.

A MIS ABUELITOS:

PATERNOS:

José Nájera Guillen
Mercedes Solórzano Méndez

MATERNOS:

Rogelio Calvo Gómez
Julia del Carmen Hernández Hdz.

Por haberme regalado unos papas tan lindos, por todo su amor, cariño, por sus sabios consejos, por su confianza que pusieron en mi y por todo su apoyo, en verdad gracias y quiero que sepan que no encuentro palabras para agradecerles y pagarles todo lo que han hecho por mi, los quiero mucho y los llevo en mi corazón, que Dios los bendiga siempre.

A MIS TIOS, PRIMOS Y SOBRINOS:

Manuel, Rosa, Maria de los Ángeles, Jaime, Gloria, Luis, Lesbia, Matías, Carmen, Oscar, M. de Jesús, Belisario (†), José (†), Manuel (†), Bartolo (†).

Refugio, Teresa, Víctor, Elvira, Ernestina, Eucario, Guillermo, Elizabeth, Juan Carlos, M. Elena, Rogelito (†).

Nelly, Juan, Consuelo, Saúl, Virginia, Delmira, Marcelino, Ana Dileri, Sebastián, Jaime, Yadira, Miguel, Mercedes, Mario, Adalia, Andulio, Regina, Darinel, Santiago, Alvaro, Miguel Ángel, Elías, Raúl, Rodrigo, Lupita, Francisco, Gabriela, Abisai.

Yoana, Juan, Blanca, Eisen, Iris, Ignacio, Antonio, Roxana, Hugo, Cristian, Mónica, Juan Antonio, Iban, Carlos Manuel, Walter, Francisco, Carlos.

Aldair, Daniel, Carlitos, Sebastián, Montserrat, Sergio, Alexander, Eisen, Víctor Antonio, Maria José.

Por compartir la vida conmigo, por todo el cariño, por sus consejos, por su apoyo que siempre me han brindado y por formar parte de mi vida, los quiero mucho y los llevo en mi corazón y le doy gracias a Dios por regalarme una gran familia. De igual manera a todos mis demás familiares.

A TODAS MIS AMIGAS Y AMIGOS EN ESPECIAL:

Adriana Lázaro Carlo, Marta de Jesús Hernández Ozuna, Karina Candelaria Velasco Morales, Ana Elena Ruíz, Verónica del Carmen Velasco, Raquel G Ruíz, María de la Luz Nicolás, Aída Nicolás, Karina Nicolás.

Miriam Garza B, Antonieta, Perla Cardona, Jessica García, Deysi, Cecy, Mirna, Lily, Gisel, Araceli, Lucero, Eloisa.

Jesús A Pérez M, Héctor Garza B, José Luis Carpio N, Julio C Montoya P, Juan H López G, Rodolfo Vázquez A, Sergio Jiménez P, Adrián Gloria T, Luis D Trujillo L, Efraín, Víctor, Ángel, Rodrigo, Hugo, Richard, Daniel, Mirsain, Efrén.

A todos gracias por su amistad, por sus consejos, por su cariño, por su apoyo, por que estuvieron conmigo en los momentos difíciles y felices de mi vida y aunque con alguno de ustedes se que no nos veremos en mucho tiempo pero recuerden que para la amistad verdadera no existe el tiempo ni la distancia, a todos los quiero mucho y los llevare siempre en mi corazón y le doy gracias a dios por darme la oportunidad de tener muchos amigos.

A los Misioneros Cooperadores del Sagrado Corazón de Jesús y Santa Maria de Guadalupe y al coro de San Francisco.

Por apoyarme de una forma directa e indirecta en mi formación profesional, a todos gracias por su apoyo y consejos, para ustedes con gran admiración y respeto muchas gracias.

A *los pobres del mundo*, que no son precisamente los que no tienen nada, sino los que saben dar a cada cosa su valor.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por haberme dado el regalo más grande “la vida” y permitirme ser lo que ahora soy.

A mi “**Alma Terra Mater**” por abrir sus brazos, cobijarme bajo su manto y permitir realizar mi formación profesional.

A la **Dra. Norma Ruiz Torres**, agradezco profundamente la oportunidad que me brindo de realizar el presente trabajo, sus atenciones, por su valioso tiempo y algo mas importante su “amistad”.

Al **Ing. José Ángel de la Cruz Bretón**. A quien también le estoy profundamente agradecido por todo su apoyo brindado para realizar este trabajo, por sus consejos, opiniones y sobre todo por la amistad brindada.

Al **Dr. Froylán Rincón Sánchez**. Por su colaboración, su participación en la revisión y jurado calificador de esta tesis.

A la **L.C.Q. Magdalena Olvera Esquivel**. Por su colaboración, tiempo, conocimientos y apoyo incondicional para la realización de este trabajo en el laboratorio y por su amistad brindada.

Al **Sr. José Leonardo Acosta Méndez**. Por su amistad, por el tiempo, conocimientos y apoyo incondicional para realizar este trabajo.

Al **Sr. Roberto Treviño Villanueva**. Por su colaboración, tiempo y apoyo incondicional para realizar este trabajo y por su amistad.

Al **Sr. Manuel Treviño Torres**. Por su apoyo incondicional, tiempo y por su colaboración para realizar este trabajo y por su amistad.

A la **M.C. Felipa Morales Luna**. Por sus consejos, apoyo y amistad brindada durante todo este tiempo.

Al **M.C. Arnoldo García Oyervides**. Por sus consejos, conocimientos brindados, apoyo y su amistad brindada.

Al **Ing. Heriberto Martínez Lara**. Por sus consejos y amistad.

Al **Sr. Daniel Guillermo Díaz**. Por sus consejos, apoyo y sobre todo por su amistad desinteresada.

A la **Lic. Sandra Roxana López Betancourt**. A quien le estoy profundamente agradecido por su apoyo en la realización de este trabajo y por su amistad.

A **todos mis profesores** durante mi estancia en esta Universidad por todos sus conocimientos, consejos y ayuda a mi formación profesional.

A **mis compañeros de la generación CIV de Producción y amigos de diferentes especialidades** por su amistad y los gratos momentos que pasamos juntos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
HIPÓTESIS.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
<i>Kalanchoe (Kalanchoe blossfeldiana)</i>	4
Geranio (<i>Geranium sp.</i>).....	5
Fotosíntesis.....	5
Asimilación de CO ₂	6
Factores que afectan la fotosíntesis.....	7
O ₂ (Oxígeno).....	7
Luz.....	8
CO ₂ (Dióxido de carbono).....	8
Disponibilidad de agua.....	9
Edad de la planta.....	10
Transpiración.....	10
Temperatura ambiental.....	11
Humedad atmosférica.....	12
Velocidad del viento.....	12
Conductancia estomática.....	12
Descripción de las plantas C ₃	13
Descripción de las plantas CAM.....	14
Importancia de la nutrición en la fotosíntesis.....	15
Nitrógeno.....	16
Magnesio.....	16
Hierro.....	17
Manganeso.....	18
MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
Ubicación del experimento.....	19
Material vegetativo.....	19
Tratamientos.....	19
Descripción de los productos.....	20
Transplante.....	21
Riego.....	21
Control fitosanitario.....	22
Determinación de la tasa de asimilación de CO ₂	22
Variables evaluadas.....	22
Diseño experimental.....	23
Modelo:.....	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
CONCLUSIONES.....	38
LITERATURA CITADA.....	39

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO ₂ en kalanchoe. Primera evaluación.....	26
Cuadro 2. Comparación de medias para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO ₂ en kalanchoe. Primera evaluación.....	26
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO ₂ en kalanchoe. Segunda evaluación.....	28
Cuadro 4. Comparación de medias para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO ₂ en kalanchoe. Segunda evaluación.....	28
Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO ₂ en geranio. Primera evaluación.....	31
Cuadro 6. Comparación de medias para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO ₂ en geranio. Primera evaluación.....	31
Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO ₂ en geranio. Segunda evaluación.....	33
Cuadro 8. Comparación de medias para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO ₂ en geranio. Segunda evaluación.....	33
Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO ₂ en geranio. Tercera evaluación.....	36
Cuadro 10. Comparación de medias para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO ₂ en geranio. Tercera evaluación.....	36

RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) determinar la tasa de asimilación de CO₂ en especies ornamentales y 2) determinar el efecto de la aplicación de productos a base de aminoácidos (Agromil Plus), en especies ornamentales kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana*) y geranio (*Geranium*). El experimento se estableció en un diseño en bloques al azar con 3 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos evaluados son: Tratamiento 1, un testigo que consistió en la fertilización base de triple 17 a una dosis de 3 g/maceta y 5 g/L de FertiDrip crecimiento 20-20-20 + microelementos + adherente Pena Trex; y el tratamiento 2 consistió en la fertilización base (17-17-17) + FertiDrip crecimiento 20-20-20 + microelementos + adherente Pena Trex y 1 ml/L de Agromil Plus fitorregulador complejo del desarrollo vegetal. La tasa de asimilación de CO₂ se determinó en plantas adultas con un equipo portátil Analizador de CO₂ Li-Cor 6400 de Li-Cor, Lincoln, Nebraska, USA. Las mediciones se llevaron a cabo a una concentración de CO₂ ambiental de 400 ppm, lo cual fue necesario para inducir la apertura de los estomas en el kalanchoe, por ser una planta CAM.

Se encontró que la aplicación de aminoácidos en la formulación del producto Agromil Plus no incrementó la tasa de asimilación de CO₂ en ambas especies. En kalanchoe la tasa de asimilación mas baja fue de 0.348 en el T2 y la mas alta fue de 0.985 $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en T1; y en geranio la menor

fue 0.385 en T2 (medición 2) y la mayor de 1.839 $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en T2 (medición 1).

En las otras variables no se encontraron diferencias significativas pero si numéricas a nivel de mesófilo y estomas.

INTRODUCCIÓN

El estudio sobre fotosíntesis es de gran importancia para comprender el proceso productivo tanto en cultivos hortícolas, plantas medicinales, ornamentales, y plantas en general.

Se han llevado a cabo estudios en cultivos como maíz, frijol, trigo y algunas hortalizas, para mejorar la calidad del producto, aumentar el rendimiento, aprovechar mejor los nutrientes y bajar los costos de producción. Sin embargo, en cultivos ornamentales se han realizado un menor número de estudios en la asimilación de CO₂, ya que son pocos los trabajos reportados.

La fotosíntesis es la base de la vida actual en la tierra, consiste en una serie de procesos mediante los cuales las plantas, algas y algunas bacterias captan y utilizan la energía de la luz para transformar la materia inorgánica de su medio externo en materia orgánica que utilizarán para su crecimiento y desarrollo. Los organismos capaces de llevar a cabo este proceso se denominan fotoautótrofos. Salvo en algunas bacterias fotoautótrofas, el proceso de fotosíntesis produce liberación de oxígeno (proveniente de moléculas de H₂O) hacia la atmósfera (fotosíntesis oxigénica).

La fotosíntesis se divide en dos fases, la primera ocurre en los tilacoides, en donde se capta la energía de la luz y esta es almacenada en dos moléculas orgánicas sencillas (ATP y NADPH) y se le conoce como fase luminosa. La segunda tiene lugar en los estromas y las dos moléculas producidas en la

fase anterior son utilizadas en la asimilación del CO₂ atmosférico para producir hidratos de carbono e indirectamente el resto de las moléculas orgánicas que componen los seres vivos (aminoácidos, lípidos, nucleótidos, etc). A esta fase se le denomina de fijación del dióxido de carbono (Ciclo de Calvin) y a la primera como "fase fotoquímica" o reacción de Hill.

En la fase luminosa o fotoquímica, la energía de la luz captada por los pigmentos fotosintéticos unidos a proteínas y organizados en los denominados "fotosistemas", produce la descomposición del agua, liberando electrones que circulan a través de moléculas transportadoras para llegar hasta un aceptor final (NADP⁺) capaz de mediar en la transformación del CO₂ atmosférico (o disuelto en el agua en sistemas acuáticos) en materia orgánica. Este proceso luminoso está también acoplado a la formación de moléculas que funcionan como intercambiadores de energía en las células (ATP). La formación de ATP es necesaria también para la fijación del CO₂.

A la par que la intensidad luminosa y la temperatura, un aumento de la concentración de CO₂ provoca un aumento de la intensidad fotosintética; este aumento es más sensible en elevadas intensidades luminosas pero es observable en intensidades luminosas moderadas (Aipi, 1999).

A bajas concentraciones de CO₂ (como cuando se cierran los estomas para evitar pérdida de agua en la planta), la Rubisco reaccionará con O₂ en vez de CO₂. Esta reacción provoca una disminución del porcentaje de carbono fijado y está asociada al fenómeno denominado fotorrespiración. Estos procesos son más graves a temperaturas relativamente altas, disminuyendo la tasa de fotosíntesis (una medida de la capacidad de la planta para asimilar CO₂).

En este trabajo se planteó determinar la tasa de asimilación de CO₂ en dos especies ornamentales, una de ellas C₃ “geranio” (*Geranium*) y la otra CAM “kalanchoe” (*Kalanchoe blossfeldiana*), con la finalidad de determinar su respuesta a la aplicación de productos químicos adicionados con aminoácidos.

OBJETIVOS:

1. Determinar la tasa de asimilación de CO₂ en especies ornamentales.
2. Determinar el efecto de la aplicación de productos a base de aminoácidos (Agromil Plus) en la tasa de asimilación de CO₂.

HIPÓTESIS:

1. Se asume que la aplicación de aminoácidos en la formulación del producto (Agromil Plus) incrementa la tasa de asimilación de CO₂.

REVISIÓN DE LITERATURA

Kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana*)

El Kalanchoe (*K. blossfeldiana* Poelln) planta dicotiledonea originaria de Madagascar, pertenece a la familia de las Crasuláceas. Es una planta de naturaleza herbácea, de hojas carnosas y suculentas las cuales se encuentran dispuestas en pares a lo largo de los tallos, cada par en ángulos rectos al par superior o inferior, con flores pequeñas en forma de estrellas, las cuales se producen en condiciones de día corto (Larson, 1994).

De las 200 especies que se conocen, la de mayor importancia económica es el género *K. blossfeldiana*, cultivándose también, pero en menor importancia: *K. tomentosa*, *K. marmorata* y *K. pumila*. El *K. blossfeldiana* ha sido sometida a numerosas hibridaciones, con lo que el mercado ofrece hoy variedades compactas de colores que van del rojo vivo al amarillo pasando por el rosa (Jiménez y Caballero, 1990).

Con respecto a las características morfológicas sobresalientes del cultivo, Vidalie (1992) enfatiza que el kalanchoe es de tamaño bastante reducido de 15 a 35 cm de altura; con follaje oscuro, siendo la típica planta que se compra “para uno mismo”.

Castellanos (1999) menciona que el *Kalanchoe blossfeldiana* Poelln, presenta baja superficie y volumen, aunque puede desarrollar tejido leñoso con la edad de la planta.

La inflorescencia es una cima del tipo dicásica, los ejes producen una flor terminal entre dos ramas iguales, cada rama repite el proceso una o mas veces (en una cima dicásica compuesta) o cada una produce solamente una flor terminal (una cima dicásica simple). Cuando la cima es grande, esta se convierte en cinco (una cima enrollada con sus ramas desarrolladas de izquierda a derecha o mejor dicho de una sola dirección) (Pertuit, 1992).

Geranio (*Geranium sp.*)

Acevedo Méndez (2002) menciona que el geranio (*Geranium sp.*) es una planta muy extendida en México, que se exporta e importa. De los once géneros únicamente el *Pelargonium* tiene importancia como ornamental, los *Pelargonium* comprenden unas 230 especies de plantas perennes, buena parte de ellas originarias de Sudáfrica; presentan tallo semileñoso, de hojas esparcidas, de nervadura palmeada y provistas de estípulas.

Las flores constan de cinco sépalos libres y de cinco pétalos también libres alternando con cinco glándulas nectaríferas. Tienen diez estambres y un fruto formado por cinco aquenios prolongados en arista y soldados a su eje central de la flor, largo y filiforme del cual se desprenden en la madurez (Lameri Ortolina, 1976).

Fotosíntesis

La fotosíntesis es la absorción de energía lumínica y conversión en potencial químico estable por la síntesis de compuestos orgánicos Russildi (1981).

Puede considerarse como un proceso de tres fases:

1. La absorción de la luz y retención de energía lumínica.
2. La conversión de energía lumínica en potencial químico.
3. La estabilización y almacenaje del potencial químico.

La fotosíntesis es importante por diversas razones. Desde el punto de vista del hombre, su mayor importancia es su papel en la producción de alimento y oxígeno; por lo tanto se estudia a menudo en función de sus productos finales. Sin embargo, éstos son secundarios en el proceso integral.

Lo importante es el hecho de atrapar y transformar energía (Bidwell, 1994).

Asimilación de CO₂

La luz solar al incidir sobre las hojas y activar las funciones de los cloroplastos, desencadenan una serie de reacciones de gran complejidad, en las cuales a partir de bióxido de carbono y el agua, se forman diversos tipos de azúcares que son el resultante de este proceso y componente de las partes comestibles de las especies vegetales.

La fotosíntesis en esencia es un proceso de oxidación-reducción, en el que el carbono de CO₂ atmosférico se reduce a carbono orgánico. La fotosíntesis en las plantas consiste básicamente en la producción de una sustancia orgánica (un glúcido simple) a partir de moléculas inorgánicas (el CO₂ como sustrato a reducir y el agua como donador de electrones que se oxida), mediante el aprovechamiento de la energía lumínica que se queda almacenada como energía química dentro de la molécula sintetizada y con desprendimiento del oxígeno (De la Rosa, 1997).

Desde el punto de vista eficiencia fotosintética, las ornamentales pertenecen a la cadena llamada C_3 en la que existe un solo mecanismo de fijación del CO_2 y de competencia entre diversos ácidos para la utilización de O_2 .

El proceso fotosintético es muy complejo pero de forma general se lleva a cabo en dos tipos: reacciones lumínicas y reacciones en la oscuridad (De la Rosa, 1997).

Las reacciones lumínicas se definen como el tipo de la fotosíntesis donde es necesaria la presencia de luz para que estas se lleven a cabo, es decir, la energía lumínica es utilizada y absorbida por los pigmentos presentes en los tilacoides de los cloroplastos y allí es transformada en energía química y depositada en las moléculas de ATP y de NADPH.

Las reacciones de oscuridad se definen como el tipo de reacciones fotosintéticas que no necesitan luz para llevarse a cabo, es decir, pueden realizarse en presencia o ausencia de luz. Estas reacciones ocurren en el estroma del cloroplasto y consisten fundamentalmente en la transformación de CO_2 atmosférico en carbón orgánico reducido (glucosa) (Olguín, 2004).

Factores que afectan la fotosíntesis

O_2 (Oxígeno)

Todas las concentraciones de oxígeno inhiben la fotosíntesis de las plantas C_3 de manera competitiva y reversible; con alto O_2 (80 % o más) ocurre también una inhibición irreversible (Bidwell, 1994).

Luz

Mecanismo que gobierna la apertura y cierre estomatal en condiciones normales de humedad, temperatura y viento.

La velocidad a la que ocurre la fotosíntesis no siempre es la misma, a medida que aumenta la intensidad de la luz, ocurre un aumento en la velocidad de la fotosíntesis. Al aumentar la luz solar se aumenta la cantidad de energía lumínica disponible para la fotosíntesis hasta cierto punto, ya que al llegar a cierta intensidad la velocidad no aumenta (Alexander, 1992).

CO₂ (Dióxido de carbono)

Bajo condiciones de campo, la concentración del dióxido de carbono es con frecuencia el factor limitante de la fotosíntesis (Bidwell, 1994).

El CO₂ es la fuente de carbono a partir del cual se sintetizan otros compuestos mediante la utilización de la energía solar. Para poder realizar esta síntesis se requiere de poder reductor y energía química, estas formas son NADPH y ATP respectivamente; ambas se forman mediante reacciones lumínicas de la fotosíntesis (Beadle *et al.*, 1985). La concentración de CO₂ en la atmósfera está muy por debajo de la saturación en la mayoría de las plantas; algunas recién se saturan cuando alcanzan concentraciones de 10 a 100 veces mayores (Bidwell, 1994).

Battle *et al.* (2000) mencionan que la concentración atmosférica del CO₂ ha sufrido un considerable aumento en el siglo XX, especialmente en sus últimas décadas. Antes del comienzo de la revolución industrial (hacia 1751, cuando el escocés James Watt inventó la máquina de vapor) la

concentración de CO₂ en la atmósfera era de unas 280 partes por millón de la mezcla de gases del aire (el 0.028 %) y a principios del siglo XXI alcanza unos 375 ppm (el 0.0375 %).

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 % por año, lo que supone en cantidades absolutas unos 3 Pg de carbono por año (Quay, 2002).

Ayari *et al.* (2000) mencionan que a altas concentraciones de CO₂ y en condiciones de saturación de luz, la fotosíntesis se ve limitada debido al grado de regeneración del sustrato de carboxilación, la Rubisco. Esto es determinado por la capacidad del electrón transportador que provee de NADPH y ATP durante el ciclo de Calvin.

Disponibilidad de agua

La fotosíntesis es sensible al estrés hídrico, agregando a esto que la planta cierra sus estomas cuando no absorbe agua por lo tanto no hay absorción de CO₂ y este efecto se ve reflejado en plantas marchitas, flacidez de hojas e inclusive de tallos.

La cantidad de agua usada directamente en las reacciones de la fotosíntesis es pequeña, comparada con la transpirada o la almacenada en las plantas en cualquier tiempo, la condición hídrica de la planta influye severamente en su crecimiento de la planta, en particular a través de sus efectos en la expansión de la hoja y la raíz. La tasa de fotosíntesis del dosel de un cultivo disminuye con la escasez de agua debido al cierre de estomas y a los

efectos del déficit hídrico en los procesos de los cloroplastos (Beadle *et al.*, 1985).

Edad de la planta

La eficiencia fotosintética depende de la hoja y del genotipo de la planta así como de la demanda de asimilatos en la floración y el efecto del medio ambiente. Bajo condiciones medioambientales comparables, la porción de fotosíntesis declina con la edad de la planta y la expansión completa de la hoja (Dwyer y Stewart, 1986).

Transpiración

La transpiración es el proceso mediante el cual la planta regula su temperatura, que consiste en la pérdida de agua en forma de vapor a través de los estomas y cutículas o lenticelas hacia una atmósfera no saturada de humedad.

Gordon y Barden (1992) mencionan que son diversos los factores que afectan el grado de transpiración: 1) irradiación; 2) temperatura; 3) velocidad del viento; 4) disponibilidad del agua en las raíces; 5) la presión del vapor de agua en las raíces, y 6) una serie de factores vegetales.

El aumento de la irradiación provoca, normalmente, que los estomas se abran y por lo tanto se acelere la transpiración. La importancia de la transpiración también se observa en el proceso absorción de agua por las raíces, ya que es de suma importancia para la obtención de nutrientes minerales así como su transporte dentro de la misma. La velocidad de

transpiración es mas baja durante la noche ya que los estomas suelen estar cerrados y la temperatura mas baja, por lo que se reduce la velocidad de evaporación de agua de las células del mesófilo (Alexander, 1992).

Temperatura ambiental

La transpiración esta relacionada con la temperatura, ya que esta provoca el calentamiento de las hojas, por lo que la planta tiene que transpirar o de lo contrario sufre lesiones. Gordon y Barden (1992) mencionan que a medida que se va incrementando la irradiación, aumenta la temperatura de la hoja y también lo hace el gradiente presión-vapor entre la hoja y el aire. El efecto provocado por el aumento de la temperatura del aire, al igual que el aumento de la irradiación, hace que los estomas se abran, puesto que los espacios intercelulares dentro del estoma permanecen con un 100 % de humedad relativa.

En condiciones de calma, el aire que circunda a una hoja que se encuentra transpirando grandes cantidades de vapor, se humedecerá; esto provoca la reducción del gradiente de presión de vapor. Sin embargo, a medida que el aire remueve el aire cargado de humedad y lo reemplaza con aire relativamente seco, el gradiente vuelve a su estado anterior y por lo tanto se acelera la transpiración.

Jurik *et al.* (1984) basándose en varios estudios sugirieron que la temperatura óptima para que la fotosíntesis se incremente con el enriquecimiento de CO₂ debe ser máximo de 35 a 40 °C. Temperaturas

superiores a este máximo, comienzan a dañar las enzimas, causando una rápida caída en el rango fotosintético.

Humedad atmosférica

Se considera que la atmósfera interna de la hoja está completamente o casi saturada. En cambio la atmósfera externa suele estar en condiciones de instauración y en continuo cambio, por ejemplo, en las mañanas frescas existe menos transpiración y por consiguiente las hojas tienen mayor cantidad de agua, lo contrario ocurre al medio día que es cuando existe mayor transpiración es por eso que se dice que existe un gradiente de presión de vapor entre las atmósferas internas y externas.

Velocidad del viento

A consecuencia de la transpiración se forma alrededor de la hoja una capa de aire húmedo llamada lámina limitante, el viento modifica esta lámina dependiendo de su velocidad, contenido de humedad y características de la hoja. Se atribuye al viento un 2.6 % de la pérdida total de agua de la hoja. En condiciones naturales, el viento hace cambiar frecuentemente las temperaturas de las hojas (Gates, 1980).

Conductancia estomática

Dado a que los estomas afectan el flujo de CO_2 en las hojas, como también la pérdida de vapor de agua, las reducciones en la conductancia estomática

para conservar agua inevitablemente significan una disminución de la tasa fotosintética. Consecuentemente, la utilidad de reducir la conductancia estomática depende del equilibrio entre la pérdida de producción y la necesidad de prevenir la deshidratación (Ludlow y Muchow, 1990).

En hojas con ajuste osmótico, los estomas continúan parcialmente abiertos al disminuir progresivamente el potencial hídrico, lo que se conoce como ajuste estomático. El ajuste estomático, por lo tanto, tiene el efecto de promover pérdidas de agua y mantener la fotosíntesis ante una progresiva declinación en el potencial hídrico de la hoja (Ludlow y Muchow, 1990). Sin embargo, el cierre parcial de estomas afecta más a la pérdida de vapor de agua que a la fotosíntesis (Araus *et al.*, 1998).

La conductancia estomática se puede obtener determinando el tamaño de la apertura de los estomas o mediante la tasa de pérdida de agua. Esta nos indica cuan abiertos o cerrados están los estomas. Al inverso de la resistencia a la difusión se le denomina conductancia por lo común sus unidades son $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Esta es directamente proporcional a la transpiración, o si se mide el CO_2 a la fotosíntesis (Salisbury, 1994).

Descripción de las plantas C_3

López Memetla (2004) menciona que las plantas C_3 son todas aquellas que dentro de su metabolismo utilizan el ácido fosfoglicérico de tres carbonos (APG) para capturar el CO_2 atmosférico y que lo necesitan entre 0.005 y 0.03 %. La mayoría de las plantas terrestres llevan el ciclo C_3 .

Si bien está claro que existe un gradiente de especies con más o menos características de uno u otro tipo de fotosíntesis entre las plantas C_3 y las CAM, las plantas con el metabolismo C_3 , se pueden reconocer fácilmente porque son todas las que poseen hojas finas, es decir hojas no suculentas. Las plantas C_3 , denominadas así porque la enzima responsable de captar el CO_2 (dióxido de carbono) en las hojas, posee tres carbonos en su estructura, abren los estomas de las hojas cuando la luz actúa sobre ellas, es decir cuando amanece. Una vez que se abren esas estructuras, se produce el intercambio gaseoso: ingresa CO_2 con el que la planta produce hidratos de carbono en forma de azúcares = energía- para todos sus procesos metabólicos y egresa, en forma de vapor, el agua con el que la planta acaba de transportar desde el sustrato los nutrientes necesarios para formar hojas, raíces y flores. Es por ello importante, que esas plantas estén siempre con suficiente luz para que los estomas de las hojas estén bien abiertos y posean suficiente agua en el sustrato durante el día para transpirarlo y no consumir el de sus tejidos porque origina el marchitamiento de la planta (Günther, 2006).

Descripción de las plantas CAM

Las CAM son reconocibles por poseer hojas gruesas y carnosas, denominadas así por las siglas en inglés de Crassulacean Acid Metabolism, metabolismo ácido de las crasuláceas, ya que se descubrió por primera vez en esa familia, aunque no es en absoluto exclusivo de dicho grupo- abren los estomas en la oscuridad; todo el proceso de intercambio gaseoso ocurre de noche. Estas plantas ingresan el CO_2 por los estomas, lo transforman en

malato y lo acumulan en las vacuolas de las células en el mesófilo de las hojas que por eso son más gruesas y al amanecer poseen un cierto sabor ácido. Cuando finaliza la noche, se cierran los estomas y con presencia de luz, realizan la fotosíntesis exactamente igual que las C_3 . ¿Cuál es la ventaja comparativa?: Durante la noche la humedad siempre aumenta y la transpiración o pérdida de agua será menor y por el otro lado la concentración del CO_2 en el ambiente, por falta de consumo de las plantas que lo hacen de día, también es mayor y eso favorece la carboxilación. Las CAM abren sus estomas durante la noche y la absorción del agua desde el sustrato se da en ese momento, de modo que se debe cuidar que durante ese período tengan suficiente agua en el sustrato. No es tan importante ese aspecto durante el día (Günther, 2006).

Importancia de la nutrición en la fotosíntesis

Los fertilizantes o nutrientes constituyen la materia prima básica para cualquier actividad en el interior de las plantas, y para todas sus funciones y procesos durante la vida de las plantas. Los nutrientes tienen que ser absorbidos, translocados y asimilados al metabolismo de la planta para poder cumplir con las acciones específicas que corresponden a cada uno de estos, en las funciones y procesos del metabolismo vegetal. Los nutrientes C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, conforman el mayor porcentaje de todos los componentes químicos y estructurales de las plantas, mientras que los elementos Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, B, y Cl, se encuentran y se requieren en cantidades mucho menores, pero no por esto son menos importantes en la

nutrición y fisiología de los cultivos, ya que algunos de ellos participan en las funciones vitales de las plantas (Yáñez, 2003).

Los elementos pueden desempeñar tres papeles distintos en las plantas: electroquímicos, estructurales y catalíticos. El papel electroquímico incluye el balance de concentraciones iónicas, la estabilización de macromoléculas, neutralización de cargas y otros. El papel estructural lo desempeñan elementos incorporados a la estructura química de moléculas biológicas o que se usan en la síntesis de polímeros estructurales. Los roles catalíticos corresponden a elementos involucrados en los sitios activos de las enzimas.

Nitrógeno

Tiene un lugar especial en la nutrición no solo debido a su elevado requerimiento por las plantas sino porque esta casi completamente ausente de la roca madre de la cual se forman los suelos. La presencia de nitrógeno en el suelo es casi totalmente el resultado de la acción biológica, abono artificial o fertilización natural.

El nitrógeno es de extraordinaria importancia en las plantas porque es un constituyente de proteínas, ácidos nucleicos y muchas otras sustancias importantes (Bidwell, 1994).

Magnesio

Desempeña importantes funciones en la planta, en primer lugar puede servir para ligar enzima y substrato, como por ejemplo en reacciones que implican transferencia de fosfato desde el ATP, en las que el magnesio actúa como

un eslabón que vincula la enzima a su substrato. En segundo lugar, puede servir para alterar la constante de equilibrio de una reacción mediante enlace con un producto, como por ejemplo en ciertas reacciones de quinasas. En tercer lugar, puede anexarse formando un complejo a un inhibidor enzimático.

El magnesio es un activador, mediante uno o más de estos mecanismos, de muchas reacciones de transferencia de fosfato (excepto fosforilasas), de enzimas implicadas en la síntesis de ácidos nucleicos y también de muchas enzimas que involucran transferencia de dióxido de carbono: reacciones de carboxilación y descarboxilación. Como tal, el magnesio es decisivo en las reacciones de metabolismo energético, así como en la síntesis de constituyentes del núcleo, cloroplasto y ribosoma. Finalmente, el magnesio constituye una parte integrante de la molécula de clorofila y es, por lo tanto, esencial en la fotosíntesis (Bidwell, 1994).

Hierro

La importancia del hierro se relaciona con dos hechos importantes: el hierro es parte del sitio catalítico de muchas enzimas oxido-reductoras importantes, y es esencial para la formación de clorofila, aunque no forma parte de la molécula. El papel que cumple en la síntesis de clorofila no está claro, y puede tener relación tanto en la síntesis de compuestos estructurales de los cloroplastos como en la síntesis de la propia molécula de clorofila (Bidwell, 1994).

Manganeso

Se involucra mucho en funciones catalíticas: es el metal activador de algunas enzimas respiratorias y de reacciones del metabolismo del nitrógeno y la fotosíntesis. El papel mas importante del manganeso en la fotosíntesis reside en la secuencia de reacciones mediante las cuales se derivan electrones del agua y se libera oxígeno. También puede tener un papel estructural en los cloroplastos, los que se tornan susceptibles a la luz en su ausencia y finalmente pierden su estructura y se desintegran bajo condiciones de disminución extrema de manganeso.

La estructura de mitocondrias y núcleos no parecen afectarse del mismo modo, lo que indica que el papel del manganeso en los cloroplastos, a diferencia del hierro, tal vez sea bastante específico (Bidwell, 1994).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El desarrollo de este trabajo se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, manejando el cultivo bajo invernadero durante el periodo de Febrero a Junio de 2007. El invernadero ubicado en el área de invernaderos, es de tipo capilla con cubierta de fibra de vidrio con acrílico TR12.

La Universidad se localiza en Buenavista, a 7 kilómetros de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México, ubicado entre las coordenadas geográficas 25° 23' Latitud Norte y 103° 01' Longitud Oeste y con una altitud de 1743 msnm.

Material vegetativo

Los materiales genéticos que se utilizaron son dos especies ornamentales: kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana*) y geranio (*Geranium sp.*) de flores de diferentes colores.

Tratamientos

Tratamiento 1: El testigo consistió en la fertilización base de triple 17 a una dosis de 3 g/maceta y 5 g/L de FertiDrip crecimiento 20-20-20 + microelementos + adherente Pena Trex.

Tratamiento 2: Fertilización base (17-17-17) + FertiDrip crecimiento 20-20-20 + microelementos + adherente Pena Trex y 1 ml/L (dosis recomendada) de Agromil Plus fitorregulador complejo del desarrollo vegetal.

Descripción de los productos

Agromil Plus es un producto con alto contenido de citocininas, actúa directamente sobre los frutos manteniendo e incrementando su tamaño.

Ingredientes: Extractos de origen vegetal conteniendo las siguientes fitohormonas y vitaminas biológicamente activas: citocininas, giberelinas, auxinas, ácido fólico, ácido pantoténico, riboflavina, nicotinamida, colina, niacina, tiamina.

FertiDrip crecimiento es un fertilizante ultrasoluble enriquecido con ácidos fúlvicos y húmicos especialmente elaborado para usarse en fertirrigación y en aspersión foliar. Es un producto libre de sodio y cloruros, ideal para incluirlo como parte de los programas de nutrición vegetal, sobre todo durante la etapa de crecimiento vegetativo de los cultivos en general.

Su fórmula 20-20-20 + microelementos promueve un vigoroso desarrollo de raíces, tallos y hojas, creando las reservas que la planta necesitará en la etapa de floración y cuajado de los frutos.

Pena Trex penetrante, dispersante y humectante. Es un coadyuvante no iónico concentrado de propósito múltiple que tiene excelentes características de penetración y dispersión, ayuda a reducir la incompatibilidad de los agroquímicos en el tanque aspersor permitiendo una mezcla más homogénea.

Por sus propiedades químicas realiza la actividad de los insecticidas, fungicidas, herbicidas y fertilizantes foliares facilitando la penetración de estos en insectos, hojas o suelos. Como dispersante, rompe la tensión superficial del agua formando una película sobre las hojas y por sus características humectantes evita la evaporación del rocío en el follaje prolongando así los efectos de los agroquímicos.

Transplante

Plantas adultas de kalanchoe y geranio se transplantaron en macetas 8" x 8" y 8" x 6", respectivamente. El transplante se realizó el 17 de Febrero de 2007.

El sustrato consistió en una mezcla de Premier Pro-mix con los siguientes componentes; peat moss, perlita y vermiculita en una proporción de (1: 0.5: 0.25).

Posteriormente se le dio un manejo a las plantas y se aplicó dos podas de rejuvenecimiento a todas las plantas. La primer poda el 06 de Febrero de 2007 y la segunda el 17 de Marzo de 2007.

Riego

Las plantas en estudio se colocaron por género (*Geranium* y *Kalanchoe*) en dos camas del invernadero y se les aplicó de forma individual un riego cada seis días por las mañanas.

Control fitosanitario

Se llevó a cabo de manera preventiva y curativa utilizando productos químicos. La plaga que atacó al cultivo del geranio fue la mosquita blanca y la enfermedad observada en ambos cultivos fue tizón temprano presentándose solo en algunas plantas. Para su control se usaron los agroquímicos: Manzate 200 DF y Clorotalonil, aplicados con una aspersora de 2 litros y a una dosis de 3.3 y 1.5 g/L, respectivamente.

Determinación de la tasa de asimilación de CO₂

La asimilación de CO₂ se determinó con un equipo portátil Analizador de CO₂, Li-Cor 6400 de Li-Cor, Lincoln, Nebraska. USA. Las mediciones se llevaron a cabo a una concentración de CO₂ ambiental de 400 ppm, lo cual fue necesario para inducir la apertura de los estomas en el kalanchoe, ya que como se mencionó es una planta CAM. Para kalanchoe las mediciones se realizaron en hojas jóvenes a diferente hora del día (10:00 am y 12:00 pm) el 4 de Mayo. En geranio la primera el 20 de Abril, la segunda el 23 de Mayo y la tercera el 4 de Junio de 2007, todas a partir de las 12:00 pm.

Variables evaluadas

Las variables fisiológicas evaluadas fueron las siguientes:

A = Tasa de asimilación neta, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

g_s = Conductancia total de CO₂, $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

C_i = Concentración de CO₂ intercelular, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$

T = Transpiración, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

HR = Humedad relativa, %

PAR = Radiación fotosintéticamente activa, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

C_i/C_a = Concentración de CO_2 intercelular/ CO_2 ambiente

UEA = Uso eficiente del agua, $\mu\text{mol H}_2\text{O mol}^{-1}$, A/g_s .

Diseño experimental

El experimento se estableció en un diseño en bloques al azar con 2 tratamientos, cada tratamiento con 3 repeticiones y tres plantas en cada repetición, teniendo un total de 18 unidades experimentales, cada una constituida por una planta.

Modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = i-j esima observación.

μ = Media poblacional.

T_i = i-esimo tratamiento.

B_j = j-esimo efecto del bloque.

E_{ij} = i-j-esimo error experimental.

$i = 1, 2, 3 \dots n$ tratamientos.

$J = 1, 2, 3 \dots n$ repeticiones.

La comparación de medias para las variables en estudio se realizó por medio de la prueba de Tukey al 5 %.

El análisis de varianza y comparación de medias se llevó a cabo con el paquete estadístico SAS versión 9.1 (2002-2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Kalanchoe

Medición I

Los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en el primer estudio de asimilación de CO₂ en kalanchoe se presentan en el Cuadro 1. Para la fuente de variación tratamientos, en las variables A, g_s, C_i, T, HR, PAR, C_i/C_a y UEA no se encontró diferencias significativas, lo cual indica que no existen efectos entre los tratamientos bajo las condiciones del presente estudio.

Así mismo se observó que no hubo diferencias estadísticas entre repeticiones.

La comparación de medias de las variables evaluadas se presenta en el Cuadro 2. Para la variable A (Tasa de asimilación de CO₂) existe un 43.84 % de diferencia entre tratamientos, siendo superior el tratamiento 1, al cual se le aplicó una fertilización base de triple 17 a una dosis de 3 g/maceta y 5 g/L de FertiDrip con 0.621 μmol CO₂m⁻² s⁻¹. Por otra parte, en la variable g_s (Conductancia total al CO₂) la diferencia numérica es de 0.013 mol CO₂m⁻² s⁻¹, siendo el tratamiento 1 el que obtuvo el mayor valor, con 0.048 mol CO₂ m⁻² s⁻¹.

Para la variable C_i (Concentración de CO₂ intercelular) se observó una media de 392.27 μmol CO₂ mol aire⁻¹, siendo ligeramente superior el

tratamiento 2 que consistió en una aplicación de Agromil Plus más la fertilización base, el cual obtuvo $393.889 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$. La diferencia entre los tratamientos fue de 3 unidades, sin embargo, las diferencias entre tratamientos para A y g_s son de mayor magnitud, lo cual indica diferencias a nivel de mesófilos principalmente.

Para la variable T (Transpiración) se encontró un 19.68 % de diferencia entre tratamientos, se observó que el tratamiento 1 obtuvo $2.796 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Esta variable indica la pérdida de agua a través de los estomas, en el instante en que se llevó a cabo la medición.

Para la variable HR (humedad relativa) existe un rango de diferencia entre tratamientos de 5.75 %, siendo superior el tratamiento 2 con 45.928 % de HR. Esta variable es un factor importante dentro del efecto del ambiente, ya que esta relacionada de cierta manera con la pérdida de agua a través de los estomas.

La variable PAR (radiación fotosintéticamente activa) que es parte de los factores ambientales que afecta la tasa de asimilación de CO_2 , muestra una diferencia numérica de $13.98 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, siendo mayor la intensidad de luz recibida por el tratamiento 2 con $575.56 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Por otra parte, en la variable C_i/C_a (Concentración de CO_2 intercelular/ CO_2 ambiente) se encontró un 0.85 % de diferencia entre tratamientos. Los valores al ser tan próximos entre sí, muestran que la concentración de C_i se mantuvo estable en ambos tratamientos.

Para la variable UEA (uso eficiente del agua) se obtuvo una media de 18.11 $\mu\text{mol H}_2\text{O mol}^{-1}$, siendo mayor el tratamiento 1 con $25.68 \mu\text{mol H}_2\text{O mol}^{-1}$.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO₂ en kalanchoe. Primera evaluación.

F.V.	G.L.	A μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	g _s mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	C _i μmol CO ₂ mol aire ⁻¹	T mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	HR %	PAR μmol m ⁻² s ⁻¹	C _i /C _a	UEA μmol H ₂ O mol ⁻¹
Rep.	2	0.12 ns	0.0002 ns	12.72 ns	10.10 ns	64.44 ns	1466.16 ns	0.0008 ns	902.01 ns
Trat.	1	0.33 ns	0.0008 ns	46.72 ns	1.35 ns	31.25 ns	854.22 ns	0.0003 ns	1031.64 ns
Error	14	0.10	0.0006	13.38	5.62	12.28	779.67	0.0001	978.43
C.V.%		66.36	56.35	0.93	94.05	7.85	4.91	1.05	172.72

ns = no significativo.

A = Tasa de asimilación de CO₂; g_s = Conductancia total de CO₂; C_i = Concentración de CO₂ intercelular; T = Transpiración; HR = Humedad relativa; PAR = Radiación fotosintéticamente activa; C_i/C_a = Concentración de CO₂ intercelular/ CO₂ ambiente y UEA = Uso eficiente del agua.

Cuadro 2. Comparación de medias para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO₂ en kalanchoe. Primera evaluación.

Tratamiento	A μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	g _s mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	C _i μmol CO ₂ mol aire ⁻¹	T mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	HR %	PAR μmol m ⁻² s ⁻¹	C _i /C _a	UEA μmol H ₂ O mol ⁻¹
1	0.621 a	0.048 a	390.66 a	2.796 a	43.292 a	561.78 a	0.976 a	25.68 a
2	0.348 a	0.034 a	393.88 a	2.246 a	45.928 a	575.56 a	0.984 a	10.54 a
\bar{X}	0.485	0.041	392.27	2.520	44.610	568.66	0.980	18.11
Tukey	0.325	0.023	3.69	2.397	3.543	28.23	0.010	31.62

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

A = Tasa de asimilación de CO₂; g_s = Conductancia total de CO₂; C_i = Concentración de CO₂ intercelular; T = Transpiración; HR = Humedad relativa; PAR = Radiación fotosintéticamente activa; C_i/C_a = Concentración de CO₂ intercelular/ CO₂ ambiente y UEA = Uso eficiente del agua.

En general, en estas evaluaciones se observó en el tratamiento 1 mayor asimilación de CO₂ así como mayor conductancia al CO₂, indicando mayor apertura de los estomas. Sin embargo, mayor apertura de los estomas resultó en una mayor tasa de transpiración, lo cual es indicativo de una mayor pérdida de agua hacia la atmósfera.

Medición II

Los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en el segundo estudio de asimilación de CO₂ en kalanchoe se presentan en el Cuadro 3. Para la fuente de variación tratamientos, en las variables A, g_s, C_i, T, HR, PAR, C_i/C_a y UEA no se encontraron diferencias significativas, lo cual indica que no hay efecto entre tratamientos. Así mismo se observó que no hubo diferencia estadística entre repeticiones.

La comparación de medias de las variables evaluadas se presenta en el Cuadro 4. Para la variable A, la diferencia numérica fue de 0.111 μmol CO₂m⁻² s⁻¹, siendo superior el tratamiento 1 con 0.985 μmol CO₂m⁻² s⁻¹. Sin embargo, en la variable g_s, la diferencia entre tratamientos fue de 14.59 % siendo mayor el tratamiento 2 con 0.067 mol CO₂ m⁻² s⁻¹. En este caso mayor A y menor g_s, indica que la cantidad de C_i en el mesófilo se mantiene aun con la limitación que impusieron los estomas.

C_i presentó una media de 393.83 μmol CO₂ mol aire⁻¹, siendo ligeramente mayor la observada en el tratamiento 1 con 394.111 μmol CO₂ mol aire⁻¹.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO₂ en kalanchoe. Segunda evaluación.

F.V.	G.L.	A μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	g _s mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	C _i μmol CO ₂ mol aire ⁻¹	T mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	HR %	PAR μmol m ⁻² s ⁻¹	C _i /C _a	UEA μmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹
Rep.	2	1.59 ns	0.0022 ns	15.50 ns	6.33 ns	15.97 ns	613.38 ns	0.00010 ns	18.32 ns
Trat.	1	0.05 ns	0.0004 ns	1.38 ns	0.21 ns	0.03 ns	4.50 ns	0.00001 ns	8.97 ns
Error	14	1.16	0.0019	25.29	4.64	8.66	923.26	0.00010	19.25 ns
C.V.%		115.85	70.30	1.27	80.15	6.23	5.39	1.35	35.10 ns

ns = no significativo.

A = Tasa de asimilación de CO₂; g_s = Conductancia total de CO₂; C_i = Concentración de CO₂ intercelular; T = Transpiración; HR = Humedad relativa; PAR = Radiación fotosintéticamente activa; C_i/C_a = Concentración de CO₂ intercelular/ CO₂ ambiente y UEA = Uso eficiente del agua.

Cuadro 4. Comparación de medias para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO₂ en kalanchoe. Segunda evaluación.

Tratamiento	A μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	g _s mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	C _i μmol CO ₂ mol aire ⁻¹	T mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	HR %	PAR μmol m ⁻² s ⁻¹	C _i /C _a	UEA μmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹
1	0.985 a	0.058 a	394.11 a	2.581 a	47.191 a	563.44 a	0.985 a	13.205 a
2	0.873 a	0.067 a	393.55 a	2.798 a	47.280 a	562.44 a	0.983 a	11.793 a
\bar{X}	0.929	0.063	393.83	2.689	47.235	562.94	0.984	12.499
Tukey	1.089	0.044	5.084	2.179	2.976	30.72	0.013	4.436

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

A = Tasa de asimilación de CO₂; g_s = Conductancia total de CO₂; C_i = Concentración de CO₂ intercelular; T = Transpiración; HR = Humedad relativa; PAR = Radiación fotosintéticamente activa; C_i/C_a = Concentración de CO₂ intercelular/ CO₂ ambiente y UEA = Uso eficiente del agua.

Para T, la diferencia entre tratamientos fue de 7.76 % presentando mayor pérdida de agua el tratamiento 2 con $2.798 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, posiblemente relacionado con una mayor apertura de los estomas.

La HR en el ambiente fue muy similar al llevar a cabo la medición en ambos tratamientos, lo cual nos indica que es un factor que no afectó la variable UEA.

La radiación fotosintéticamente activa se mantuvo igualmente constante a través de mediciones, habiendo una ligera diferencia ($1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) entre tratamientos.

La variable C_i/C_a , mostró un 0.24 % de diferencia entre tratamientos, lo cual indica que las diferencias en A, se deben principalmente a una limitación en g_s .

La variable UEA, mostró un valor medio de $12.49 \mu\text{mol H}_2\text{O mol}^{-1}$, la diferencia entre tratamientos fue mínima, como resultado de los valores tan próximos obtenidos para A y para g_s .

Los tratamientos aplicados a través del estudio, no permitieron observar diferencias significativas entre ellos, los valores obtenidos para las variables en estudio fueron muy similares, sin embargo se observó que las diferencias en A se debieron principalmente a limitaciones del mesófilo, ya que se obtuvieron valores altos de C_i , aun con una g_s reducida.

Geranio

Medición I

Los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en el primer estudio de asimilación de CO₂ en geranio se presentan en el Cuadro 5. En la fuente de variación tratamientos, para las variables A, g_s, C_i, T, C_i/C_a y UEA no se encontró diferencias significativas. Las variables HR y PAR que son parte de los factores ambientales, presentaron variación durante la medición de asimilación de CO₂.

La comparación de medias de las variables evaluadas se presenta en el Cuadro 6. Se obtuvo un valor promedio de 1.68 μmol CO₂m⁻² s⁻¹ para A, con una diferencia entre tratamientos de 16.83 %, esta ligera diferencia, esta relacionada con una baja g_s, ya que los valores oscilaron entre 0.023 (T1) y 0.031 mol CO₂m⁻² s⁻¹ en T2.

Por otra parte para C_i, los valores obtenidos para los tratamientos en estudio fueron 220.89 y 228.00 μmol CO₂ mol aire⁻¹ para T1 y T2, respectivamente. Los cuales reflejan la limitación impuesta por g_s, ya que los valores obtenidos para A no son de una magnitud que indiquen gran actividad en el mesófilo de la hoja.

La tasa de transpiración esta relacionada con una baja conductancia, lo cual limitó la pérdida de agua a través de los estomas.

Las variables HR y PAR, mostraron diferencias para cada uno de los tratamientos, lo cual indica que al momento de tomar las mediciones se presentaron cambios significativos en el ambiente, como pudo ser el paso

Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO₂ en geranio. Primera evaluación.

F.V.	G.L.	A μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	g _s mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	C _i μmol CO ₂ mol aire ⁻¹	T mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	HR %	PAR μmol m ⁻² s ⁻¹	C _i /C _a	UEA μmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹
Rep.	2	2.15 ns	0.0006 ns	1531.05 ns	0.31 ns	0.20 ns	7073.55 ns	0.012 ns	620.02 ns
Trat.	1	0.43 ns	0.0003 ns	227.55 ns	0.01 ns	152.60**	86528.00*	0.002 ns	47.85 ns
Error	14	1.20 ns	0.0002	2704.48	0.17	7.37	13569.71	0.022	1061.89
C.V.%		65.16	61.50	23.17	53.67	4.78	41.71	23.22	47.37

* y ** = Significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns = no significativo.

A = Tasa de asimilación de CO₂; g_s = Conductancia total de CO₂; C_i = Concentración de CO₂ intercelular; T = Transpiración; HR = Humedad relativa; PAR = Radiación fotosintéticamente activa; C_i/C_a = Concentración de CO₂ intercelular/ CO₂ ambiente y UEA = Uso eficiente del agua.

Cuadro 6. Comparación de medias para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO₂ en geranio. Primera evaluación.

Tratamiento	A μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	g _s mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	C _i μmol CO ₂ mol aire ⁻¹	T mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	HR %	PAR μmol m ⁻² s ⁻¹	C _i /C _a	UEA μmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹
1	1.53 a	0.023 a	220.89 a	0.76 a	53.80 b	209.89 b	0.63 a	70.42 a
2	1.83 a	0.031 a	228.00 a	0.81 a	59.63 a	348.56 a	0.65 a	67.16 a
\bar{X}	1.68	0.027	224.44	0.78	56.71	279.22	0.64	68.78
Tukey	1.11	0.017	52.58	0.42	2.74	117.78	0.15	32.94

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

A = Tasa de asimilación de CO₂; g_s = Conductancia total de CO₂; C_i = Concentración de CO₂ intercelular; T = Transpiración; HR = Humedad relativa; PAR = Radiación fotosintéticamente activa; C_i/C_a = Concentración de CO₂ intercelular/ CO₂ ambiente y UEA = Uso eficiente del agua.

de una nube, lo cual redujo la cantidad de radiación recibida por la hoja, afectando la variable A.

La relación C_i/C_a , se vió afectada por el bajo valor de C_i , a consecuencia posiblemente de una limitación estomática, como ya se mencionó anteriormente.

La diferencia mínima en UEA ($3 \mu\text{mol H}_2\text{O mol}^{-1}$) se debió principalmente a que no se presentaron diferencias entre tratamientos para A y g_s .

En general se observó en esta medición que el geranio presentó una tasa de asimilación de CO_2 reducida, limitada en mayor magnitud por la conductancia estomática.

Medición II

Los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en el segundo estudio de asimilación de CO_2 en geranio se presentan en el Cuadro 7. No se encontraron diferencias entre tratamientos para las variables evaluadas A, g_s , C_i , T, HR, PAR, C_i/C_a y UEA (Cuadro 7), sin embargo, se presentaron diferencias numéricas que se analizan a continuación.

La comparación de medias de las variables evaluadas se presenta en el Cuadro 8. Indica valores mayores para A y C_i en el tratamiento 1, lo anterior muestra que el CO_2 intercelular no presentó una limitante en el mesófilo para que se llevará a cabo la fijación de CO_2 . Sin embargo, g_s obtuvo valores relativamente bajos, en un rango de $0.053 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T2) a $0.071 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T1), por lo que posiblemente limitó la entrada de CO_2 al

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO₂ en geranio. Segunda evaluación.

F.V.	G.L.	A μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	g _s mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	C _i μmol CO ₂ mol aire ⁻¹	T mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	HR %	PAR μmol m ⁻² s ⁻¹	C _i /C _a	UEA μmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹
Rep.	2	0.03 ns	0.030 ns	1597.38 ns	0.81 ns	79.43 ns	1462.66 ns	0.009 ns	329.24 ns
Trat.	1	0.19 ns	0.001 ns	1494.22 ns	1.67 ns	1.88 ns	11150.22 ns	0.009 ns	351.27 ns
Error	14	0.30	0.002	1303.24	3.74	57.01	3647.60	0.008	441.74
C.V.%		112.46	77.31	9.48	88.68	14.30	13.90	9.44	186.92

ns = no significativo.

A = Tasa de asimilación de CO₂; g_s = Conductancia total de CO₂; C_i = Concentración de CO₂ intercelular; T = Transpiración; HR = Humedad relativa; PAR = Radiación fotosintéticamente activa; C_i/C_a = Concentración de CO₂ intercelular/ CO₂ ambiente y UEA = Uso eficiente del agua.

Cuadro 8. Comparación de medias para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO₂ en geranio. Segunda evaluación.

Tratamiento	A μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	g _s mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	C _i μmol CO ₂ mol aire ⁻¹	T mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	HR %	PAR μmol m ⁻² s ⁻¹	C _i /C _a	UEA μmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹
1	0.594 a	0.071 a	389.56 a	2.488 a	53.099 a	409.44 a	0.973 a	6.826 a
2	0.385 a	0.053 a	371.33 a	1.877 a	52.451 a	459.22 a	0.928 a	15.661 a
\bar{X}	0.489	0.062	380.44	2.183	52.775	434.33	0.950	11.243
Tukey	0.556	0.048	36.50	1.957	7.634	61.06	0.090	25.250

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

A = Tasa de asimilación de CO₂; g_s = Conductancia total de CO₂; C_i = Concentración de CO₂ intercelular; T = Transpiración; HR = Humedad relativa; PAR = Radiación fotosintéticamente activa; C_i/C_a = Concentración de CO₂ intercelular/ CO₂ ambiente y UEA = Uso eficiente del agua.

mesófilo de la hoja, y redujo la tasa de transpiración, que fue de $2.488 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el tratamiento 1 y de $1.877 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el tratamiento 2.

La variable HR mostró un comportamiento muy similar durante la medición de ambos tratamientos, por lo que no fue un factor determinante en las diferencias numéricas observadas entre ellos.

Por otra parte, la cantidad de radiación recibida por la hoja en la cámara de LICOR-6400, presentó una variación de 50 unidades entre tratamientos, lo cual no repercutió significativamente en los valores obtenidos en A, g_s y T, sin embargo, el tratamiento 2 mostró valores menores en las variables mencionadas ($0.385 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $0.053 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $1.877 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente).

En la variable C_i/C_a se obtuvo 0.973 para T1 y 0.928 para T2, la diferencia numérica entre tratamientos se puede atribuir básicamente a una menor g_s en T2 y no a una mayor eficiencia del mesófilo en las plantas evaluadas en el tratamiento 1.

En relación a la variable UEA, en el tratamiento 2 se observó un valor que duplica al obtenido en T1, ($15.661 \mu\text{mol H}_2\text{O mol}^{-1}$ y $6.826 \mu\text{mol H}_2\text{O mol}^{-1}$, respectivamente) indicando una mayor g_s en T1.

Medición III

Los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en el tercer estudio de asimilación de CO_2 en geranio se presentan en el Cuadro 9. Para la fuente de variación tratamientos, en las variables A, g_s , C_i , T, PAR, C_i/C_a y UEA no se encontró diferencias significativas, siendo

estadísticamente iguales al 0.05 y al 0.01 % de probabilidad. La variable HR que es parte del ambiente, mostró diferencias altamente significativas durante la medición de las variables.

La comparación de medias de las variables evaluadas se presenta en el Cuadro 10. Se observa valores mayores para el tratamiento 1 en las variables A, g_s , T, PAR, y UEA. Las diferencias numéricas observadas en A ($0.964 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en T1 y 0.399 en T2) se debieron básicamente a una mayor eficiencia en el mesófilo de la hoja, ya que obtuvo mayor g_s ($0.036 \text{ mol CO}_2\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y menor C_i ($289.78 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$) lo cual indica ingreso de CO_2 a la hoja, y su fijación en el mesófilo de una manera continua.

Con respecto a la variable T, se observó que incrementó a $2.525 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en T1, al reducirse HR a 29.89 %, por otra parte, se redujo a $1.737 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al incrementar HR a 36.40 % en T2. Los cambios en la variable HR se pueden atribuir a un incremento en PAR durante la medición en el T1, ya que se observó una diferencia de $20.67 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}$ entre tratamientos.

Menor coeficiente de C_i/C_a se observó en T1 (0.838), debido principalmente al valor obtenido en C_i , ($289.78 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$) el cual fue menor como resultado de una mayor eficiencia del mesófilo durante la medición. Para la variable UEA, el tratamiento 1 presentó un valor de $33.02 \mu\text{mol H}_2\text{O mol}^{-1}$, siendo mayor en $18.04 \mu\text{mol H}_2\text{O mol}^{-1}$ con respecto al T2, esta diferencia numérica se puede atribuir a una mayor asimilación de CO_2 en T1 y una reducida g_s .

Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO₂ en geranio.
Tercera evaluación.

F.V.	G.L.	A μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	g _s mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	C _i μmol CO ₂ mol aire ⁻¹	T mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	HR %	PAR μmol m ⁻² s ⁻¹	C _i /C _a	UEA μmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹
Rep.	2	0.78 ns	0.0002 ns	2861.55 ns	1.02 ns	15.52 ns	76.72 ns	0.02 ns	872.07 ns
Trat.	1	1.43 ns	0.0003 ns	11350.22 ns	2.79 ns	190.51**	1922.00 ns	0.09 ns	1464.29 ns
Error	14	0.49	0.0006	5225.17	3.42	17.51	4231.35	0.04	1066.27
C.V.%		103.38	76.99	22.95	86.86	12.62	10.90	23.11	136.03

* y ** = Significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns = no significativo.

A = Tasa de asimilación de CO₂; g_s = Conductancia total de CO₂; C_i = Concentración de CO₂ intercelular; T = Transpiración; HR = Humedad relativa; PAR = Radiación fotosintéticamente activa; C_i/C_a = Concentración de CO₂ intercelular/ CO₂ ambiente y UEA = Uso eficiente del agua.

Cuadro 10. Comparación de medias para variables fisiológicas en estudio de asimilación de CO₂ en geranio.
Tercera evaluación.

Tratamiento	A μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	g _s mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	C _i μmol CO ₂ mol aire ⁻¹	T mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	HR %	PAR μmol m ⁻² s ⁻¹	C _i /C _a	UEA μmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹
1	0.964 a	0.036 a	289.78 a	2.525 a	29.893 b	606.78 a	0.838 a	33.020 a
2	0.399 a	0.027 a	340.00 a	1.737 a	36.400 a	586.11 a	0.981 a	14.980 a
\bar{X}	0.682	0.032	314.88	2.131	33.146	596.44	0.909	24.003
Tukey	0.712	0.025	73.08	1.872	4.230	65.76	0.212	33.015

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

A = Tasa de asimilación de CO₂; g_s = Conductancia total de CO₂; C_i = Concentración de CO₂ intercelular; T = Transpiración; HR = Humedad relativa; PAR = Radiación fotosintéticamente activa; C_i/C_a = Concentración de CO₂ intercelular/ CO₂ ambiente y UEA = Uso eficiente del agua.

En general se observó que en kalanchoe la tasa de asimilación de CO₂ fue baja, que los valores de C_i resultaron ser relativamente altos, considerando también que la conductancia estomática mostró valores menores a 0.5 moles CO₂m⁻² s⁻¹. Los resultados indicaron que se presentó limitación a nivel de mesófilo lo cual resultó en valores altos de C_i. Los valores elevados de UEA se debieron principalmente a una apertura reducida de los estomas.

En geranio la asimilación presentó también valores relativamente bajos, los valores de C_i resultaron bajos en la primera evaluación, incrementándose en la segunda y tercera evaluación. Se observó limitación a nivel de estomas y de mesófilo.

CONCLUSIONES

La aplicación de aminoácidos en la formulación del producto Agromil Plus no incrementó la tasa de asimilación de CO₂ en kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana*), el cual fue aplicado en forma foliar a una dosis 1 ml/L.

En geranio, la aplicación del producto Agromil Plus no incrementó la tasa de asimilación de CO₂.

En kalanchoe se observó limitación a nivel de mesófilo principalmente, sin embargo los valores de g_s fueron bajos.

En geranio se observó limitación a nivel de mesófilo y de estomas, resultando en una baja tasa de asimilación de CO₂.

LITERATURA CITADA

- Acevedo Méndez, M. 2002. Respuesta de cinco especies ornamentales a diferentes concentraciones de fertilizantes y frecuencias de aplicación en el fertirriego. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista Saltillo, Coah. Méx. p. 5.
- Aipi A. 1999. Cultivo en invernadero. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. Barcelona. México.
- Alexander, P. 1992. Biología. Prentice Hall. New Jersey. Printed in USA: p. 57-61.
- Araus, J., T. Amaro., J. Casadesus, A. Asbati. y M. Nachit. 1998. Relationships between ash content, carbon isotope discrimination and yield in durum wheat. Australian Journal of Plant Physiology 25: 835-842.
- Ayari, O., M. Dorais and A. Gosselin. 2000. Daily variations of photosynthetic efficiency of greenhouse tomato plants during winter and spring. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125 (2): 235-241.
- Battle M. 2000. Global carbon sinks and their variability inferred from atmospheric O₂ and ¹³C. Science. 287, 2467-2470. En línea <http://homepage.mac.com/uriarte/tco2.html>. Fecha de consulta: 24/08/07.
- Beadle, C. L, S. P. Long, S. K. Imbamba, D. C. Hall and R. J. Olembo. 1985. Photosynthesis in relation to plant production in terrestrial environments. Ticooly Publishing Limited. Oxford, England. 156 p.

- Bidwell R., G. S. 1994. Fisiología Vegetal. AGT Editor, S.A. pp.157, 200-203.
- Castellanos Díaz, H. C. 1999. Uso y biorremediación de sustrato contaminado con hidrocarburo y su evaluación en el desarrollo de dos cultivares de *Kalanchoe blossfeldiana* Poelln bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias en Suelos. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coah. Méx. p. 5-6.
- De la Rosa, I. M. 1997. Apuntes de Fisiología Vegetal. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buenavista, Saltillo, Coah. Méx.
- Dwyer, L.M. and D. W. Steward. 1986. Effect of leaf age and position on net photosynthetic rates in maize. *Agric. For Meteorol.* 37: 29-46.
- Gates, D.M. 1980. *Biophysical Ecology*. Springer-Verlang. New Cork. 611 p.
- Gordon, R. H. y J. A. Barden. 1992. *Horticultura*. AGT Editor, S.A. México. D. F.
- Günther, E. 2006. Intercambio gaseoso en las orquídeas. En línea <http://www.microplanta.com/articulos/2006/03/01/intercambio-gaseoso-en-las-orquideas/>. Fecha de consulta 27/08/2007.
- Jiménez, M. R. y R. M. Caballero. 1990. El cultivo industrial de plantas en maceta. Ediciones de Horticultura, S.L. Reus. España.
- Jurik, T. W., J. A. Weber and D. M. Gates. 1984. Short-term effects of CO₂ on gas exchange of leaves of Aspen *populus grandidentata* in the field. *Plant Physiology*. 75: 1022-1025.
- Lameri Ortolina, R. 1976. *Los Geranios*. Editorial de Vicchi, S.A. Barcelona.
- Larson, R.A. 1994. *Introducción a la floricultura*. Primera reimpresión. AGT Editor, S.A. México.

- López Memetla, L. 2004. Reducción del estrés por frío mediante el uso de BioColdProt en Belen (*Impatiens walleriana*) y Coleo (*Coleus blumei*). Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Buenavista Saltillo, Coah. Méx.
- Ludlow, M. y R. Muchow. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in waterlimited environments. *Advances in Agronomy* 43: 107-151.
- Olguín Solís, J. F. 2004. Influencia de la temperatura en la zona radical y fotosíntesis del cultivo de pepino con películas plásticas de diversos colores. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Buenavista Saltillo, Coah. Méx.
- Pertuit, A.J. 1992. *Introduction to floricultura*. Second Edition. Academic Press, Inc. USA.
- Quay, P. 2002. Ups and downs of CO₂ uptake. *Science*. 298, 2344. En línea: <http://www.microplanta.com/articulos/2006/03/01/intercambio-gaseoso-en-las-orquideas/>. Fecha de consulta: 27/08/07.
- Russildi G., M.C. 1981. Diferentes vías fotosintéticas de las plantas y sus aplicaciones en la alimentación de los herbívoros. Facultad de Agronomía U.A.N.L Monterrey. N.L. México.
- Salisbury, B. F., and Ross W. C. 1994. *Fisiología Vegetal. Métodos de intercambio de gases*. Grupo Ed. Iberoamericano. 664 p.
- SAS Institute Inc. 2002-2003. *SAS/STAT User’s guide*. Version 9.1. SAS Inst. Inc., Cary NC.

Vidalie, H. 1992. Producción de flores y plantas ornamentales. Segunda Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Yáñez, R. J. N. 2003. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. (WATTS) Tecnología, Comercio y Servicios Agrícolas Mundiales. Saltillo, Coahuila, México.