

COLEGIO DE POSGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

**SOMBRA ARTIFICIAL Y APLICACIÓN DE THIDIAZURÓN EN EL
CRECIMIENTO Y FISIOLÓGÍA DE LA VAINILLA (*Vanilla planifolia* Andrews).**

HECTOR MIGUEL OLIVARES SOTO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO,
2010

La presente tesis, titulada: **Sombra artificial y aplicación de Thidiazurón en el crecimiento y fisiología de la vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews)** realizada por el alumno Héctor Miguel Olivares Soto, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

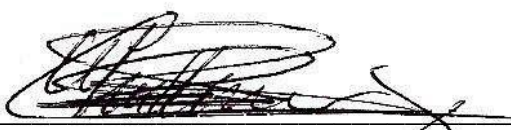
MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: _____



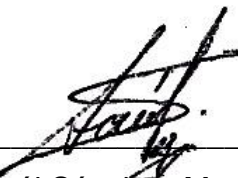
Dr. Guillermo Calderón Zavala

ASESOR: _____



Dr. Jorge Rodríguez Alcázar.

ASESOR: _____



M.C. Saúl Sánchez Morales

Montecillo, Texcoco, México, 21 de Mayo 2010

SOMBRA ARTIFICIAL Y APLICACIÓN DE THIDIAZURÓN EN EL CRECIMIENTO Y FISIOLÓGÍA DE LA VAINILLA (*Vanilla planifolia* Adrews)

Hector Miguel Olivares Soto, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2010

El objetivo de esta investigación es documentar el efecto de diferentes niveles de sombra artificial y la aplicación de TDZ sobre el número y crecimiento de brotes laterales, en la producción y distribución de la materia seca en la planta de vainilla así como el efecto en parámetros fisiológicos del intercambio de gases. Para ello, se trabajó con esquejes de vainilla, con ocho yemas. Los niveles de sombra fueron 30, 50 y 70 % y 0, 500 y 1000 mg·litro⁻¹ de Thidiazurón. Se midió longitud y diámetro de brotes, número de hojas, tasa de fotosíntesis aparente (FA), transpiración (Tr), conductancia estomática (CE), concentración intercelular de CO₂ (CINT), área foliar total por planta y la distribución de peso seco a en los componentes de la planta. No hubo diferencia significativa entre tratamientos en la longitud de los brotes. La longitud total de brote y el diámetro del brote principal fueron mayores en la intensidad de sombra de 50 %y sin aplicación de TDZ (0 mg·litro⁻¹). Con 1000 mg·litro⁻¹ de TDZ y con 70 % de sombra se presentó el mayor número de brotes. Conforme se aumenta el nivel de sombra, todas las variables fisiológicas de intercambio gaseoso se ven ligeramente favorecidas. Se observa que a mayor Tr le corresponde una mayor CE, lo cual es indicador de que hay una menor resistencia estomática. El tratamiento 70% sombra registró la mayor CE y la mayor Fa pero no hubo significancia con resto de los tratamientos. La mayor CE de este tratamiento se refleja en una numéricamente mayor tasa de fijación de CO₂. Los relativamente bajos niveles de CE pueden probablemente atribuirse a un bajo déficit de presión de vapor a pesar de las considerablemente altas temperaturas registradas durante las mediciones. Con esto se presentó una mayor Fa puesto que la RS se redujo en forma considerable registrando valores menores de 2 s cm⁻¹. Se presentaron problemas en el intercambio de gases al incrementar la temperatura puesto que con temperaturas mayores a 30 °C, probablemente se afecta considerablemente la tasa de asimilación de CO₂.

Palabras clave: *Vanilla planifolia* A., regulador de crecimiento, longitud de brote, intercambio gaseoso, área foliar, fotosíntesis, materia seca.

ARTIFICIAL SHADE AND USE OF THIDIAZURON ON VANILLA PHYSIOLOGY AND GROWTH PROCESS (*Vanilla planifolia* Andrews)

Hector Miguel Olivares Soto, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2010

The aim of this research is to document the effect of diverse shade levels and the use of TDZ on cuttings growth and quantity; dry vanilla distribution and production, and the impact of physiological parameters on the gas exchange. To do this, vanilla cuttings with eight leaf buds were used. The shade levels were of 30, 50 and 70%, and 0, 500 as well as 1000 mg·lt⁻¹ of Thidiazuron was applied. Shoot length, primary shoot diameter and number of leaves were registered. Also, they were registered the apparent photosynthesis rate, transpiration, stomatal conductance, CO₂ intercellular concentration, total upper leaf surface, and fresh weight. Eventhough, the total shoot growth did not present statistic variation among the different treatments; the best shade intensity was the 50%. In regards of TDZ quantity, the best treatment was 0 mg·lt⁻¹, taking in account also the swelling of the primary shoot. With 1000 mg·lt⁻¹ of TDZ the highest number of shoots came out with a shade of 70%. The 30% of shade presented the greatest loss of water, showing as well, the lowest transpiration. The 70% of shade also registered the highest stomatal conductance. The registered values of CO₂ intercellular concentration were high, so we can tell about a lower CO₂ diffusion. The 30% of shade intensity showed the poorest values of gas exchange. Transpiration was notably similar among all the treatments. The best total shoot growth was found with the 50% of shade, and we can conclude that this intensity reflected the highest specific weight. The best total upper leaf surface was registered with a 70% of shade and the highest weight of dry mass was presented by the stems, the root and tendrils in 30% of shade intensity.

Key words: *Vanilla planifolia* Andrews, growth regulator, shoot length, gas exchange, total upper leaf surface, photosynthesis, dry mass.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización de los estudios de postgrado y esta investigación.

Al Colegio de Posgraduados y en especial a Fruticultura por brindarme todas las facilidades que un alumno puede desear para su formación académica y obtención de grado.

Al Dr. Guillermo Calderón Zavala, por ser una excelente persona, por su valiosa orientación, paciencia y tiempo dedicado en la realización de esta investigación y, además, por su amistad brindada.

Al Dr. Jorge Rodríguez Alcázar, por su amabilidad, por su apoyo brindado y sus valiosas contribuciones aportadas.

Al M.C. Saúl Sánchez Morales, por su amabilidad y sencillez, por su apoyo en la revisión y sugerencias aportadas para la realización del presente trabajo.

A la Dra. María Teresa Colinas de León, por su apoyo incondicional en esta investigación.

A las secretarías de Fruticultura: Olga y Roció por todo el apoyo durante mi estancia en el Colegio.

A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres.

Por creer en mí, aconsejarme en los momentos difíciles, por su apoyo en cada etapa de mi vida y sobre todo por enseñarme cuales son las cosas importantes de la vida.

A mis hermanos.

Por todo su amor y por su apoyo incondicional.

A Altagracia Reyes Castillo.

Por todo su amor brindado durante estos 6 años, por ser parte fundamental en mi vida y por todo su apoyo incondicional.

A mis amigas y amigos.

Por la amistad sincera y desinteresada que hemos mantenido hasta el día de hoy, gracias.

Héctor miguel olivares soto.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Origen.....	4
2.2. Descripción Botánica de la <i>V. planifolia</i> Andrews	4
2.3. Variedades.....	6
2.4. Requerimientos Ambientales para Cultivar Vainilla.....	7
2.5. Situación de la Vainilla en México	9
2.6. Sistemas de producción comercial de vainilla	9
2.7. Relaciones de Crecimiento de la Vainilla	11
2.8. Requerimientos de Sombra en Vainilla	12
2.9. Principales Limitaciones Agronómicas en la Producción de Vainilla	13
2.10. Efectos de Sombra Sobre Fisiología	16
2.11. Fotosíntesis	17
2.11.1. Factores Endógenos	18
2.11.2. Factores exógenos	21
2.12. Técnicas para Medir el Intercambio de Gases	22
2.13. Principio del Análisis de Gases en el Infrarrojo	23
2.14. Reguladores de Crecimiento	24
2.14.1. Generalidades	24
2.14.2. Thidiazurón (N-phenyl-N1-1, 2, 3,-thidiazol-5-ylurea).....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Localización y Características del Sitio Experimental	31
3.2. Material Vegetal	31
3.3. Establecimiento del Cultivo y Tratamientos.....	31

3.3.1. Acondicionamiento del Sitio de Experimental.....	31
3.3.2. Tratamientos	33
3.4. Manejo y Cuidado de las Plantas	34
3.5. Registro y Medición de Variables	35
3.5.1. Variables Ambientales.....	35
3.5.2. Variables de Crecimiento	35
3.5.3. Variables Fisiológicas.....	36
3.5.4. Variables de Crecimiento Foliar y de Materia Seca.....	36
3.6. Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1. Condiciones Ambientales en el Invernadero	39
4.1.1. Temperatura.....	39
4.1.2. Humedad Relativa	40
4.1.3. Intensidad Lumínica	41
4.2. Variables de Crecimiento	42
4.2.1. Longitud del brote.....	42
4.2.2. Diámetro de brotes	47
4.2.3. Número total de brotes	49
4.3 Variables Fisiológicas.....	51
4.3.1. Intercambio de gases	51
4.4. Variables de Crecimiento y Materia Seca.....	57
4.4.1. Peso específico de la hoja.....	57
4.4.2. Área foliar y número de hojas.....	59
4.4.3. Peso de biomasa fresca y seca de la planta	63
V. CONCLUSIONES	68

VI. LITERATURA CITADA.....	70
VII. ANEXO	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura promedio diaria registradas dentro del invernadero con el experimento de efecto de niveles de sombra y aplicación de TDZ en vainilla en el ciclo 2007 – 2008 en Montecillo, México	40
Figura 2. Humedad relativa promedio diaria registradas dentro del invernadero con el experimento de efecto de niveles de sombra y aplicación de TDZ en vainilla en el ciclo 2007 – 2008 en Montecillo, México	41
Figura 3. Intensidad lumínica promedio diaria registradas dentro del invernadero con el experimento de efecto de niveles de sombra y aplicación de TDZ en vainilla en el ciclo 2007 – 2008 en Montecillo, México	41
Figura 4. Efecto de niveles de sombra y aplicación de TDZ sobre la dinámica de crecimiento en longitud de brote a través del tiempo en vainilla en el ciclo 2007 – 2008 en Montecillo, México	42
Figura 5. Efecto de niveles de sombra y aplicación de TDZ sobre la longitud final de brote (cm), en vainilla en el ciclo 2007 – 2008, bajo invernadero en Montecillo, México	45
Figura 6. Efecto de tres niveles de sombra en la Tasa de fotosíntesis aparente (Fa), conductancia estomática (CE), concentración intercelular de CO ₂ (CINT) y transpiración (Tr) en vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.	55
Figura 7. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre área foliar (cm ²) en brote primario, secundario y total en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.....	61
Figura 8. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre peso de biomasa fresca (g) en hoja, tallo, raíz y zarcillos en brote primario y secundario en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.	65

Figura 9. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre peso de biomasa seca (g) en hoja, tallo, raíz y zarcillos en brote primario y secundario en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008. 67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos de sombra y aplicación de Thidiazurón (TDZ) evaluados en vainilla de Julio de 2007 a agosto de 2008 en Montecillo, Edo. de México en condiciones de invernadero.....	33
Cuadro 2. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre longitud de brote (cm) primario, secundario y total en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México.....	44
Cuadro 3. Efecto de sombra sobre longitud de brote (cm) en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México.....	46
Cuadro 4. Efecto de TDZ sobre longitud de brote (cm) en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México.....	47
Cuadro 5. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre el diámetro de los brotes primario y secundario de la planta de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.....	48
Cuadro 6. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre el número total de brotes de la planta de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.....	50
Cuadro 7. Valores de radiación fotosintéticamente activa (RFA) y temperatura del aire durante las mediciones de intercambio de gases en vainilla. 2008. Montecillo, México.....	52
Cuadro 8. Tasa de fotosíntesis aparente (Fa), conductancia estomática (CE), concentración intercelular de CO ₂ (CINT) y transpiración (Tr) en vainilla por efecto de tres niveles de sombra en Montecillo, México. 2007-2008.....	54
Cuadro 9. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre peso específico de hojas (mg cm ⁻²) en brote primario y secundario en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.....	58
Cuadro 10. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre área foliar (cm ²) en brote primario, secundario y total en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.....	60

Cuadro 11. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre el número de hojas totales de la planta de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.	62
Cuadro 12. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre peso de biomasa fresca (g) en hoja, tallo, raíz y zarcillos en brote primario y secundario en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.	64
Cuadro 13. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre peso de biomasa seca (g) en hoja, tallo, raíz y zarcillos en brote primario y secundario en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.	66

LISTA DE CUADROS ANEXOS

Cuadro A-1. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo ($Pr >F$) para la longitud de brote en primario, secundario y total	83
Cuadro A-2. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo ($Pr >F$) para la longitud de brote en sombra y TDZ.....	83
Cuadro A-3. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo ($Pr >F$) para el diámetro de brote en primario, secundario y total	83
Cuadro A-4. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo ($Pr >F$) para el número de brotes totales	84
Cuadro A-5. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo ($Pr >F$) para fotosíntesis aparente, conductancia estomática, concentración intercelular de CO ₂ y transpiración en vainilla sobre los 3 niveles de sombra.....	84
Cuadro A-6. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo ($Pr >F$) para el peso específico de hoja de brotes primario y secundario	84
Cuadro A-7. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo ($Pr >F$) para el área foliar en primario, secundario y total	85
Cuadro A-8. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo ($Pr >F$) para el numero de hojas totales	85

Cuadro A-9. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo ($Pr >F$) para biomasa fresca en hoja, tallo raíz y zarcillo en crecimiento primario..... 85

Cuadro A-10. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo ($Pr >F$) para biomasa fresca en hoja, y tallo en crecimiento secundario 86

Cuadro A-11. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo ($Pr >F$) para biomasa seca en hoja, tallo raíz y zarcillo en crecimiento primario 86

Cuadro A-12. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo ($Pr >F$) para biomasa seca en hoja, y tallo en crecimiento secundario 86

I. INTRODUCCIÓN

La vainilla (*Vanilla planifolia* A.) es originaria de México y América Central, donde se ha cultivado por más de 200 años; en México es originaria de la parte norte del estado de Veracruz y norte de Puebla, ya que es donde se presentan las características de clima y suelo necesarias para la explotación, como son la cantidad y distribución de las precipitaciones pluviales a lo largo del año, así como el contenido de materia orgánica en el suelo (Hernández, 1997). Las tres especies que más se cultivan en la actualidad a escala internacional son: *Vanilla planifolia* a la que corresponde el 70% de la producción mundial, *Vanilla tahitensis* y *Vanilla pompona*, cada una de las cuales tiene un sabor, uso y mercado específicos (Hernández, 1997).

La vainilla, como la mayoría de las orquídeas, necesita de sombra para su desarrollo normal; la regulación de la sombra, es una de las prácticas más importantes para el cultivo. En la época de sequía, especialmente cuando la planta es chica, se recomienda mantener la sombra entre 50 y 60 %. Por el contrario, en la época de nublados y lluvias o lloviznas constantes, se disminuye la sombra a un 30 a 35 % para evitar que las plantas de vainilla se enfermen por exceso de humedad, especialmente si se está cultivando en zonas de mucha lluvia y nublados frecuentes.

La falta de sombra en los vainillales, provoca quemaduras por exposición de las hojas y tallos a los rayos del sol. Mientras que el exceso de sombra, favorece el desarrollo de plagas y enfermedades, especialmente en las zonas de cultivo de alta precipitación y nublados frecuentes como ocurre en las áreas serranas. Un indicador práctico del exceso de sombra es el adelgazamiento del bejuco, y el ataque de enfermedades como el honguillo conocido como Roya (*Puccinia striiformis* f. sp) que se identifica por la presencia de puntos levantados de color amarillo ocre en la hoja (Bourriquet, 1994).

En la actualidad no existe un manejo adecuado de la sombra. Por un lado, no existe una sombra alta que proteja a las plantas de la vainilla de los estragos del exceso de luz durante la estación seca y los tutores que se utilizan (*Erythrina lanceolata*) se defolian con facilidad ante el estrés hídrico. De esta manera, las plantas de vainilla sufren el exceso de exposición a la luz solar, se blanquean y agobian. Al mismo tiempo se agudiza la falta de agua, muchas raíces adventicias se secan, y al contrario no existen oportunidades de reponer raíces que la planta pudo haber perdido durante el invierno a causa del exceso de humedad (Guerra, 1992).

El principal efecto de la sombra es la recreación de condiciones microecológicas constantes. Las ventajas consisten no sólo en el hecho de proporcionar un ambiente luminoso favorable al desarrollo equilibrado del cultivo, sino también, contrarrestar factores ecológicos desfavorables, tales como baja fertilidad del suelo, daños por vientos y heladas, alta tasa de evapotranspiración y ciertas plagas y enfermedades (Watad et. al., 1999). El uso de malla sombra de plástico busca reducir el exceso de insolación, disminuir el desecamiento del sustrato y por lo tanto de los riesgos, y controlar la temperatura. Adicionalmente, se tiene una mayor protección (Fanjul et al. 1994). La determinación de rangos y necesidades de sombra debe hacerse por especie de interés, y en forma que se pueda distinguir el óptimo de la especie a través de un análisis de intensidades intermedias de sombra.

El uso de productos reguladores del crecimiento en el cultivo de vainilla es escaso pero pudiera aumentar el potencial de desarrollo de las plantas al buscar la emisión de un mayor número de brotes laterales, rompiendo así, en algún grado, el hábito monopódico de la especie. El Thidiazurón (TDZ) es un regulador del crecimiento vegetal con actividad citocinínica que promueve el crecimiento, especialmente de nuevas laterales.

Con esta investigación se pretende documentar el efecto de diferentes niveles de sombra artificial (malla sombra) y de la aplicación de TDZ sobre el número y crecimiento de brotes laterales en esquejes recién establecidos, y en la producción y distribución de la materia seca en la planta de vainilla así como el efecto en parámetros fisiológicos del intercambio de gases de hojas. Para ello, se trabajó sobre la hipótesis de que la acción combinada de malla sombra y aplicación de TDZ provoca en plantas de vainilla un incremento tanto en el número, como en el crecimiento de brotes y en el área foliar, y que el nivel de sombra afecta la respuesta fisiológica en intercambio de gases del aparato fotosintético.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen

De las 110 especies de vainilla distribuidas en el mundo (Portéres, 1954), la *Vanilla planifolia* es la especie económica más importante y, de acuerdo a León (1987), la única que es explotada en la industria.

La vainilla es una planta originaria de la parte norte de la zona costera del estado de Veracruz y la zona norte de Puebla, específicamente de la zona conocida como el Totonacapan, ya que es donde se presentan las características de clima y suelo necesarias para la producción (Claridades Agropecuarias, 2002). Esta especie junto con *V. pompona schiede*, tienen como centro de origen común a México, Costa Rica y Belice (Gunston, 1971; Purseglove, 1972 y Liahut, 1985).

Leur (1972) menciona que esta especie se distribuye de manera natural en el Sudeste de México, las Indias Occidentales, Guatemala, El Salvador, Panamá, Belice, Nicaragua, Costa Rica, Colombia, Venezuela, Surinam, Guayana Británica, Guayana Francesa, Ecuador, Perú, Solivia, Paraguay, noroeste de Brasil, norte de Argentina y en todas las islas del Caribe.

2.2. Descripción Botánica de la *V. planifolia* Andrews

La planta de vainilla es perenne, trepadora y de tallo flexible, cilíndrico, simple o ramificado, de color verde y está formado por entrenudos de cinco a 15 cm de longitud y de 1 a 2 cm de diámetro dispuestos en zigzag (Loredo, 1990). Las hojas que se disponen de

manera alterna a lo largo del tallo, son flexibles, subsésiles, elípticas, lanceoladas y al igual que el tallo, son suculentas (Purseglove, 1972).

Las inflorescencias o racimos brotan de las axilas de las hojas, por lo general son simples, de cinco a 8 cm de longitud, con 15 ó 20 botones florales, de las cuales abre de uno a tres al mismo tiempo; las flores son de color verde-amarillento con tres sépalos, dos pétalos normales y uno modificado llamado labelo; en el ginostemo se encuentran los estambres y el pistilo, separados por una membrana llamada róstelo (Purseglove, 1972).

El fruto es una cápsula dehiscente que presenta tres costados cóncavos en forma cilíndrica, de color verde brillante cuando está inmaduro y se va tornando de amarillo a café cuando madura, mide de 15 a 25 cm de largo y de diez a 15 mm de diámetro; llega a tener hasta 100,000 semillas, que van de 0.25 a 0.312 mm (Parra, 1987).

Si se considera que las raíces originadas en partes enterradas o aéreas del tallo, de hojas e incluso de raíces maduras, son adventicias (Rom y Carlson, 1987) y que el total de las raíces de las monocotiledóneas está compuesto por raíces adventicias originadas del tallo (Esau, 1977), entonces, todo el sistema radical de la vainilla es de origen adventicio, raíces aéreas y terrestres, ya que ambas brotan de los entrenudos del tallo; Alconero (1968) describe a las primeras como cortas, glabras y sin ramificaciones, de las segundas apuntó que son largas, con pelos absorbentes, ramificadas y que crecen entre la hojarasca; con las raíces aéreas la planta trepa a los árboles y otros soportes, con las terrestres se alimenta, estas últimas crecen a una profundidad de cinco a 10 cm y un radio de 1.20 m (Sánchez, 1997). En general el método de propagación comercial de la vainilla es asexual, por medio de esquejes (Loredo, 1990).

2.3. Variedades

En la zona productora de México, región del Totonacapan (región entre Veracruz y Puebla), y en todo el país sólo se pueden encontrar dos especies: Vainilla planifolia y Vainilla pompón o vainillón (Claridades Agropecuarias, 2002; Sánchez 1997). Dentro de la primera están las siguientes:

Vainilla mansa o vainilla verde. Esta es la de mayor importancia en el país y en el mundo. Se diferencia por el color verde de la planta y del fruto. El tono puede cambiar a verde amarillento, lo cual se debe a la forma en que se cultiva y la cantidad de sombra que tienen las plantas.

Vainilla rayada. También conocida como vainilla de tarro o vainilla de acamaya, esto por el rayado amarillo con verde que presenta a lo largo de las hojas.

Vainilla oreja de burro. Este subtipo de vainilla no es muy cultivado, ya que tiene la particularidad de tirar entre el 80 y el 100 % de los frutos en estado inmaduro. La planta es vigorosa de hojas grandes y flexibles con acanaladuras longitudinales muy pronunciadas.

De las tres, la variedad más comercial es la vainilla mansa o vainilla verde.

2.4. Requerimientos Ambientales para Cultivar Vainilla

Las características de las regiones donde la vainilla prospera de forma adecuada son: temperatura de 21 a 27°C (Montoya, 1963), e incluso hasta los 32°C. Montoya también señaló que las temperaturas mínimas pueden oscilar entre 5 y 7°C siempre y cuando no se prolonguen mucho; sin embargo, para los productores de vainilla existen muchos factores que intervienen en la severidad del daño ocasionado a las plantas por bajas temperaturas, entre los más importantes están:

- a) La ubicación del vainillal (vainíllales desprotegidos del viento frío como planicies o las partes más altas de los cerros, suelen ser los más inapropiados para establecer un vainillal en regiones con problemas de bajas temperaturas).
- b) La sombra uniforme en el vainillal, puede ser determinante en el efecto de bajas temperaturas.
- c) Al igual que la sombra, una cubierta de materia orgánica sobre el sistema radical de la vainilla puede aminorar el daño por descensos bruscos de temperatura.
- d) Aún con sombra uniforme y una cubierta de materia orgánica, el daño por frío puede ser muy severo si la planta de vainilla tiene un alto porcentaje de brotes tiernos o jóvenes, ya que esas partes son las más susceptibles al daño por frío; cabe señalar que la emisión abundante e irregular de raíces aéreas, esta muy relacionada con el ataque de enfermedades fungosas y el grado de infección de la planta.

La altitud propicia para el cultivo de vainilla va de 0 a 600 msnm con una precipitación media anual de 1,500 mm o más, pero bien distribuida durante el año.

Los terrenos destinados a convertirse vainillales, deberán contar con excelente drenaje, abundante materia orgánica y pH de 6 a 7; cuando la explotación es de temporal, se deberán escoger aquellos terrenos orientados en dirección al este (Sánchez, 1993).

Por su hábito trepador, la planta necesita de un patrón o tutor, que le proporcione sostén y de ser posible también sombra, sin la cual sufriría quemaduras por los rayos del sol; es por eso y por la naturaleza de la planta que el vainillal debe estar sombreado por completo, con humedad ambiental de 80% pero con buena ventilación.

Las flores de vainilla, en su interior, tienen una membrana llamada "róstelo" parecida a una lengüeta, que separa al órgano masculino (antera) del femenino (estigma), impidiendo de esta manera la autopolinización, por lo tanto la presencia del róstelo en la flor, hace necesaria la polinización manual para fines comerciales, ya que otros medios como el eólico o entomófilo no garantizan una producción importante.

Desde el momento de la plantación hasta la floración pasan de uno a tres años, después de ese tiempo, la floración ocurre cada año, todo esto depende del manejo del vainillal, del material vegetativo y de las condiciones ambientales; para que en un vainillal se coseche una producción importante, es necesario recurrir a la polinización manual de sus flores. De acuerdo a Sánchez (1993), cuando esa operación se realiza de manera adecuada, las envolturas florales se van

marchitando poco a poco, mientras el ovario (fruto tierno) crece con gran rapidez; por el contrario, si la polinización es deficiente, en dos días la flor entera cae y el ovario no se desarrolla, se torna amarillento, se enjuta y al final cae también; otro factor muy importante en el manejo del vainillal es el suministro de agua, ya que el riego en un vainillal, repercute en plantas vigorosas y por lo general más sanas (Alconero et al., 1973).

2.5. Situación de la Vainilla en México

El 90 % de la producción nacional de vainilla se genera en la región conocida como el "Totonacapan", que comprende nueve municipios veracruzanos y tres poblanos (Sánchez, 1993). En esta región predominan tres tipos de climas, clasificados por García (1981) como: Awl (e), Aw₂ y Am (e); las principales unidades de suelo, fueron clasificadas por la FAO-UNESCO como Fluvisol eútrico, Cambisol y Vertisol pélico, además de Regosol eútrico, Fluvisol crómico, Arenosol, Litosol y Andosol. El resto de la producción nacional (10 %), se produce en los estados de Hidalgo, Oaxaca, Tabasco y Quintana Roo.

2.6. Sistemas de producción comercial de vainilla

De acuerdo a Claridades Agropecuarias (2002), Curtí (1995) y Sánchez (1997), los sistemas de producción se dividen en:

Vainillales tradicionales. En este sistema los vainillales están establecidos en poblaciones secundarias llamadas "acahuales", en donde la densidad de plantas por hectárea es baja. Las plantas utilizan la vegetación secundaria de la región. Normalmente no se controlan plagas y enfermedades, y en caso de realizarse se hacen

fuera de tiempo. Con este sistema las plantas producen hasta el cuarto año y no en el tercero como debería de ser; además su rendimiento es bajo y en ocasiones la planta produce una vez y se muere. Este sistema es común en la región, ya que abarca cerca del 90% del total del área destinada a este cultivo.

Vainíllales modernos. Este sistema es de tecnología intensiva, consta de altas densidades de población, con tutores establecidos por los productores. Cuentan con programas de control de plagas y/o enfermedades, lo que reduce los daños. En algunos casos llegan a contar con sistemas de riego que permiten incrementar el rendimiento hasta 4 t ha¹. Este sistema representa el 10 % de la superficie cultivada, pero con una tendencia al crecimiento.

La diferencia entre sistemas de producción intensivos y tradicionales, es la idiosincrasia del productor (Sánchez, 1997); ya que para el vainillero tradicional la vainilla representa un mito, una herencia ancestral y para el vainillero de sistema intensivo, representa un negocio. Los sistemas de producción intensivos de vainilla en México son los siguientes:

Sistema Intensivo de Riego. Llamado cultivo puro, inicia con el establecimiento de tutores de cocuite (*Glyricidia macúlala*) y pichoco (*Erytrina* sp.) y al año de edad se siembra la planta de vainilla. En este sistema, el productor aplica un programa de control de plagas y/o enfermedades oportunamente; controla malezas, acomoda guías y aplica riegos de auxilio. En los vainíllales del sistema intensivo de riego se plantan entre 1,140 a 5,000 tutores y de 2,280 a 10,000 plantas de vainilla por hectárea.

Sistema intensivo de temporal. En este sistema el productor utiliza los árboles de naranja valencia u otros como tutores. Los cuidados del cultivo son iguales al sistema anterior, la diferencia es que el abastecimiento de agua está dado por la precipitación pluvial.

Sistema tradicional o de acahual. El productor hace uso de la vegetación nativa de un acahual, que es la vegetación resultante de la reproducción de un terreno donde cortaron y quemaron los árboles y arbustos nativos. Predominan árboles y arbustos menores de 10 m, y de diámetro inferiores a 20 cm. Los árboles utilizados como tutores son variados pero las especies más utilizadas son: Laurel (*Litsea glaucencens*), pata de vaca (*Buquinia divaricata*), cojón de gato (*Tabernaemontana* sp.), cacahuapaxtle o balletilla (*Hamelia erecta*), capulín (*Mantinga calabura*), cocuite (*Glyricidia* sp.), pichoco o colorín (*Eritrina* sp) y la chaca (*Bursera simaruba*).

El productor utiliza entre 1,500 y 2,500 tutores por hectárea, con 3,000 a 5,000 plantas de vainilla por hectárea. La mayoría de las labores se realizan fuera de tiempo y los vainillales son de temporal.

2.7. Relaciones de Crecimiento de la Vainilla

Para asegurar los mejores resultados en el establecimiento de un vainillal e incluso reducir la etapa juvenil del mismo, se deben plantar esquejes mayores de un metro (Sánchez y Parra, 1988).

La principal función del sistema radical de una planta es la de abastecer suficientes nutrimentos y agua, para que a su vez el sistema aéreo produzca los alimentos necesarios para las raíces; en plantas sanas y normales estos procesos están en equilibrio, entre la parte expuesta al sol y la superficie total del sistema radical (Weier et

al., 1983). Sin embargo, cuando la vainilla se planta en época fría, se favorece el desarrollo del sistema radical por encima del sistema aéreo, en tanto que si la época es calurosa y previa a la temporada de lluvias, se favorecerá el crecimiento rápido de la parte aérea (Curtí, 1995).

Las bajas temperaturas afectan en primer término a los brotes tiernos y raíces aéreas, estas últimas son protegidas al acumularles materia orgánica.

Cuando la planta florece y comienza el desarrollo del fruto, hay una notable suspensión del crecimiento de los brotes aéreos (Parra, 1987).

Otro factor importante en el crecimiento y desarrollo de la planta de vainilla es la luz, ya que el exceso de sombra disminuye el diámetro del tallo y el área foliar (Curtí, 1995).

Las yemas producen crecimiento vegetativo e inflorescencias; una vez ocurrido cualquiera de los dos procesos, queda imposibilitada para desarrollar crecimiento adicional, a este tipo de yemas se les conoce a nivel regional como 'ciegas'.

2.8. Requerimientos de Sombra en Vainilla

La vainilla, como la mayoría de las orquídeas, necesita de sombra para su desarrollo normal; la regulación de la sombra, es una de las prácticas más importantes para el cultivo.

En las plantaciones, generalmente existen tres niveles de sombra: el nivel alto correspondiente a los árboles grandes conocidos

precisamente como “árboles de sombra”, el nivel intermedio que corresponde a los tutores y arbustos en general y el nivel bajo que lo proporcionan las hierbas.

La regulación de la sombra incluye el manejo de los 3 niveles mencionados y se hace de acuerdo a las necesidades de la planta y en función de las condiciones climatológicas. En la época de sequía, especialmente cuando la planta es chica, se recomienda mantener la sombra entre 50 y 60 por ciento. Por lo contrario, en la época de nublados y lluvias o lloviznas constantes, se debe disminuir a un 30 a 35 por ciento para evitar que las plantas de vainilla se enfermen por exceso de humedad, especialmente si esta cultivado en zonas de mucha lluvia y nublados frecuentes y/o su población de 10,000 plantas por hectárea.

La falta de sombra en los vainillales, provoca quemaduras por exposición de las hojas y tallos a los rayos del sol. Mientras que el exceso de sombra, lo que es peor, favorece el desarrollo de plagas y enfermedades, especialmente, en las zonas de cultivo de alta precipitación y nublados frecuentes como ocurre en las áreas serranas. Un indicador práctico del exceso de sombra es el adelgazamiento del bejuco, y el ataque de enfermedades como el honguillo también conocido como Roya que se identifica por la presencia de puntos levantados de color amarillo ocre en la hoja (Bourriquet, 1994).

2.9. Principales Limitaciones Agronómicas en la Producción de Vainilla

- Uno de los problemas a resolver es la alta incidencia de enfermedades radicales que han contribuido a la baja producción de vainilla. Se menciona que el principal problema

que afecta fuertemente la producción es la pudrición de raíz (*Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*) la cual causa entre 30 a 52 % de la muerte de las plantas durante su vida productiva (Corre, 1990). Este hongo ataca las raíces adventicias de la vainilla, la planta muere por que no puede absorber agua y nutrimentos. Suelos degradados, pobres en materia orgánica, favorecen la colonización por este hongo, el aumento paulatino del número de propágulos aunado a condiciones ambientales y de manejo favorables desencadena la epifita (Guerra, 1992).

- No se utilizan abonos orgánicos que mejoren la condición físico-química y microbiológica de los suelos. El uso de abonos orgánicos que mimeticen el ambiente que usualmente encuentran las raíces de la vainilla bajo condiciones naturales (Guerra, 1992).
- Ausencia de prácticas dirigidas a mantener e idealmente mejorar las condiciones nutricionales y físicas del suelo mediante enmiendas orgánicas e inorgánicas (Guerra, 1992).
- No existe un manejo adecuado de la sombra, por un lado no existe una sombra alta que proteja a las plantas de la vainilla de los estragos del exceso de luz durante la estación seca y los tutores que se utiliza (*Erythrina lanceolata*), se defolian con facilidad ante el estrés hídrico. De esta manera las plantas de vainilla sufren el exceso de exposición a la luz solar, se blanquean y agobian.
- Al mismo tiempo se agudiza la falta de agua, muchas raíces adventicias se secan, y al contrario no existen oportunidades de reponer raíces que la planta pudo haber perdido durante el

invierno a causa del exceso de humedad o a la fusariosis (Guerra, 1992).

- La falta de sombra adecuada afecta el vigor de las plantas, la tolerancia a enfermedades y a la longevidad de las mismas; la ausencia de esquejes impide nuevas siembras; el desconocimiento de tutores adecuados es causa del fracaso de muchas plantaciones (Parra, 1984b).

Con el objetivo de controlar los anteriores factores depresivos del cultivo de la vainilla se han ensayado modificaciones al sistema tradicional de cultivo; así, por ejemplo, Pennigto et al. (1954) probaron tres métodos de cultivo en los cuales trataron de controlar agua, drenaje, sombra y abonado. A los cinco años encontraron diferencias significativas en la presencia de plantas sanas, pero no en el rendimiento.

En este mismo sentido, Alconero et al. (1973) desarrollaron un método intensivo de cultivo de vainilla para probar sombra, cubierta vegetal, fertilizantes, riego y pesticidas, en el cual encontraron que la sombra y los riegos adecuados fueron los factores que mas favorecieron el buen desarrollo de las plantas.

En otro trabajo conducido por Muralidharan (1973) en la India para probar tutores vivos y tutores de madera muerta, se encontró buen desarrollo de las plantas de vainilla tanto en *Erythrina litrospermia* como sobre postes de madera muerta. Un ensayo de cultivo intensivo de vainilla bajo sombra artificial con malla plástica negra, cama elevada con materia orgánica producida anaeróticamente, arena limpia y agua por subirrigación logró crecimientos por planta de hasta 65 cm. por mes (George, 1984).

2.10. Efectos de Sombra Sobre Fisiología

En general las plantas varían ampliamente en su capacidad de crecer bajo la sombra. Mucha de esta variación está relacionada con adaptaciones del aparato fotosintético en las especies tolerantes a la sombra. El crecimiento exitoso bajo condiciones de sombreado depende de la capacidad de las plantas para atrapar la luz disponible y convertirla en energía química. Las especies tolerantes por tanto presentan puntos de compensación y saturación bajos, que varían también en las distintas etapas de crecimiento (Kumar y Teszen, 1996).

En relación a las investigaciones que se han realizado para determinar el efecto de la interceptación de luz, Armitage (1991) menciona que la luz controla el crecimiento, el fototropismo y la morfogénesis. Este autor indicó que las diferencias pueden ser fácilmente notadas por la comparación del crecimiento de plántulas que se han desarrollado en la oscuridad y en la luz.

Armitage (1991) indica que la producción de clorofila, la expansión de hojas y también el desarrollo de la raíz son promovidos por la luz; en cambio, la elongación de los tallos es inhibida. Y menciona que cuando la planta crece en condiciones de oscuridad o baja intensidad de luz, se da origen al fenómeno denominado etiolación o ahilamiento. La etiolación es una respuesta de gran valor para la planta, porque provoca que el brote enterrado, o muy sombreado, se alargue rápidamente sin estorbo de hojas voluminosas hasta que emerge y alcanza la luz.

El uso de malla sombra busca reducir el exceso de insolación, disminuir el desecamiento del sustrato y por lo tanto de los riesgos, y

controlar la temperatura. Adicionalmente, se tiene una mayor protección (Fanjul et al., 1994).

La determinación de rangos y necesidades de sombra debe hacerse por especie de interés, y en forma que se pueda distinguir el óptimo de la especie a través de un análisis de intensidades intermedias de sombra.

El principal efecto de la sombra es la recreación de condiciones microecológicas constantes. Las ventajas consisten no sólo en el hecho de proporcionar un ambiente luminoso favorable al desarrollo equilibrado del cultivo, sino también, contrarrestar factores ecológicos desfavorables, tales como la baja fertilidad del suelo, daños por vientos y heladas, alta tasa de evapotranspiración y ciertas plagas y enfermedades (Watad et. al., 1999).

2.11. Fotosíntesis

La información relacionada con la fisiología de la vainilla, y más específicamente con intercambio de gases, es claramente escasa. Por ello, a continuación se presenta información básicamente de otras especies, principalmente frutales.

La fotosíntesis es el proceso directamente involucrado en la producción de biomasa y rendimiento de fruto y ha sido definido como un proceso por medio del cual el dióxido de carbono (CO_2) es absorbido y reducido por órganos de las plantas verdes, principalmente hojas, en presencia de luz y agua para formar un carbohidratos simples; en este proceso el oxígeno (O_2) es liberado del agua (Calderón et al., 1997).

La eficiencia fotosintética de un árbol o de un huerto, y su relación con la productividad alcanzada dependen de factores endógenos y exógenos. Entre los factores endógenos se encuentran edad de las hojas o tejidos fotosintéticos, apertura estomática, contenido nutrimental y la presencia de frutos; en los factores exógenos se incluyen todos los factores ambientales y de manejo.

2.11.1. Factores Endógenos

En general, en los árboles frutales, su anatomía establece su característica fotosintética (Faust, 1989). La edad de la hoja, su posición dentro del brote y su peso específico están estrechamente vinculados con su eficiencia fotosintética. En vid (*Vitis vinifera* L.) las hojas maduras poseen mayor tasa fotosintética que las hojas inmaduras (Chaumont et al., 1994). Por el contrario, en mandarina (*Citrus unshiu* Marc) la mayor tasa fotosintética ocurre en hojas jóvenes (Miranda et al., 2002). En cereza negra (*Prunus serótina* Ehrh.) los valores más altos de la tasa fotosintética se detectaron en las hojas jóvenes comparadas con las hojas maduras (Hosley y Gottschalk, 1993).

La posición de la hoja dentro del brote es un factor también importante en el proceso fisiológico. En cereza agria (*Prunus cerasus* L.) 'Montmorency', la tasa fotosintética fue mayor en las hojas jóvenes y maduras (50 y 100 % de expansión, respectivamente) ubicadas entre el nudo 9 y 13, mientras que en las ubicadas abajo del nudo 9 y arriba del nudo 13 la tasa fotosintética es menor. Lo anterior pudiera estar relacionado con la presencia de estomas inmaduros (hojas arriba del nudo 13) y por la senescencia normal de la hoja (hojas abajo del nudo 9) (Sams y Flore, 1982).

En manzano, las hojas ubicadas en crecimientos cortos de madera adulta disminuyeron su fotosíntesis neta antes que las hojas sobre ramas de nuevo crecimiento, en donde la intensidad de fotosíntesis neta también fue menor (Palmer et al, 1997).

El peso específico de la hoja y tasa fotosintética están en función de la intensidad de luz solar. En árboles de durazno 'Redhaven' expuestos a 4 niveles de sombreado (100%, 36%, 21% y 9% de luz solar), se encontró que el peso específico de la hoja y la tasa fotosintética disminuyeron conforme disminuyó la intensidad de luz (Kappel y Flore, 1983).

Al evaluar cinco niveles de luz [100%, 45%, 23%, 17% y 9% de flujo de fotones fotosintéticos (PPF)] y cuatro diferentes períodos de sombreado [16 Jun-4 Jul: A-31 Jul; 31 de Jul-30 Sep y 16 Jun-30 Sep con 1128, 1560, 1478 y 1350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente), se encontró que el peso específico de la hoja en arboles de durazno 'Redhaven' fue negativamente afectado al nivel 9% PPF en los 4 períodos (Marini y Sowers, 1990). En cambio, en árboles de durazno 'Nekalsu Hakutoh' en condiciones de sombra ($1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y de campo ($1600\text{-}2000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) no se registraron diferencias estadísticas en el peso específico de la hoja entre ambas condiciones (Chen et al., 1998).

La fotosíntesis depende de la difusión del CO_2 , así como de la apertura y cierre de los estomas, particularmente cuando la concentración de CO_2 es baja (Harrison et al., 1989). En hojas de durazno 'Flordaking' la tasa fotosintética y conductancia estomática (g_s) fueron mayores en hojas completamente expandidas comparadas con hojas en desarrollo y expandidas (Anderson y Brodbeck, 1988). La presencia del fruto influye también en g_s y en la tasa fotosintética.

En árboles de durazno 'O'Henry' (de maduración tardía) con fruto y sin fruto se midió g_s y la tasa fotosintética durante el crecimiento del fruto, y no se encontraron diferencias estadísticas durante la Etapa II. Pero al inicio de la Etapa III la asimilación de CO_2 se incrementó en 11% y la g_s en 30 % en árboles con fruto respecto a los árboles sin fruto (DeJong, 1986). La presencia del fruto así como la etapa de desarrollo en la que se encuentre, afectó a la g_s y la tasa fotosintética, por estar estrechamente relacionados.

En la tasa fotosintética hay un conjunto de reacciones que involucran muchos de los nutrimentos requeridos por las plantas verdes, como N, P, K, Mg, Fe y Mn, pero existe poca información sobre el papel de estos nutrimentos en la tasa fotosintética. El contenido de N en la hoja es el principal factor determinante de la tasa fotosintética (Faust, 1989), ya que es un constituyente de las clorofilas y enzimas del grupo de los citocromos (núcleo porfirínico) que son indispensables para fotosíntesis. La edad de la hoja y la carga de fruto podrían estar relacionadas con el contenido de N y clorofila.

En hojas completamente expandidas de durazno 'Golden Glory' se encontró una alta correlación entre el contenido de N y la tasa fotosintética (DeJong, 1986). Así mismo, en hojas de aguacate (*Persea americana* Mili.) 'Booth-8 y 'Peterson' de diferentes edades, se observó un incremento en la tasa fotosintética en hojas maduras asociadas con incrementos en la concentración de clorofila (Schaffer et al., 1991).

En general la presencia de fruto incrementa la fotosíntesis. En árboles de manzana 'Braeburn' sometidas a 4 intensidades de raleo (340, 260, 160 y 0 frutos por árbol), el tratamiento de 0 frutos por árbol tuvo una fotosíntesis neta más baja que los otros tratamientos

(Wünsche y Palmer, 1997). La fotosíntesis neta disminuyó a mediados del período de crecimiento del fruto, en asociación con un incremento en la concentración de almidón en la hoja conforme fue disminuyendo la carga de frutos.

Las hojas son las mayores productoras de fotosíntesis. No obstante, los frutos tienen actividad fotosintética en las primeras etapas de su desarrollo. Los frutos jóvenes de durazno 'Cal Red' (de maduración tardía) tuvieron mayor tasa fotosintética; posteriormente la tasa fotosintética disminuyó significativamente a medida que maduró el fruto, probablemente relacionada con los cambios en el color del fruto (Pavel y DeJong, 1993).

2.11.2. Factores exógenos

La luz es el factor principal para la tasa fotosintética, aunque la temperatura, agua, CO₂ y humedad también tienen una función regulatoria. La intercepción de luz y el sombreado dentro y entre árboles dependen del grado de desarrollo del follaje, la forma del tamaño del árbol, densidad de follaje y la geometría del huerto (Flore, 1994), aspectos que pueden regularse mediante el manejo del huerto.

Para frutos de hueso, la curva de fotosíntesis en respuesta a aumentos en la cantidad de luz es la típica asintótica, con saturación entre 400-800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Faust, 1989). Las hojas expuestas a la luz normalmente dan mayor producción de materia seca, de modo que la alta intensidad de luz incidente en el follaje es crítica para la tasa fotosintética (DeJong y Goudriaan, 1989). La intensidad de luz disminuye desde el nivel de la copa más alto al más bajo, por lo que

la tasa fotosintética es alta en las hojas de la periferia, y baja en las hojas del centro del árbol (Mirini y Marini, 1983).

El déficit hídrico reduce fuertemente el área foliar y la tasa fotosintética (Lakso, 1985). En dos cultivares contrastantes de vid ('Tempradillo' y 'Manto negro') la tasa fotosintética fue similar en plantas con y sin riego durante el crecimiento de la baya y en el envero, en ambos cultivares; luego, durante la maduración del fruto la tasa fotosintética disminuyó solamente en 'Tempradillo' (Escalona et al., 1997). En durazno 'Diamante' la aplicación de sequía (50% riego) causó disminución de la tasa fotosintética, 24 h después de iniciada, con respecto al testigo (Almaguer-Vargas et al., 1997). Similares resultados se obtuvieron en tres cultivares de olivo (*Olea europea*) ('Arbequina', 'Manzanilla' y 'Sevillana') pues la tasa fotosintética disminuyó al aumentar el estrés hídrico de -10 a -35 bars (Jorba et al., 1985).

2.12. Técnicas para Medir el Intercambio de Gases

El crecimiento de los cultivos, por lo general, se mide por el cambio de peso seco determinado en muestreo destructivo. Aunque esta técnica es adecuada para evaluar cambios a largo plazo, es inapropiada cuando el interés se concentra en los incrementos de materia seca a corto plazo (Long y Hallgen, 1988). La medición de la absorción de CO₂ a través del analizador de gases en el infrarrojo (IRGA) proporciona un método alternativo y directo con ventajas importantes sobre las mediciones de cambio de peso seco: es instantáneo, no destructivo, permite efectuar investigaciones separadas de hojas individuales y hace posible la separación de la ganancia fotosintética de las pérdidas por respiración.

La mayoría de los estudios de intercambio de CO_2 se han efectuado con métodos de sistemas cerrados; esto es, mediante confinamiento de hojas, plantas o poblaciones de plantas en una cámara transparente. La desventaja de estos métodos es que cuando el material que se va a estudiar se confina, es inevitable que se produzca una alteración del ambiente. Las cámaras de asimilación están diseñadas para reducir al mínimo la alteración del ambiente. En un sistema confinado, el aire se bombea de la cámara que encierra a la hoja hacia un analizador de gases con rayos infrarrojos (IRGA) que registra continuamente la concentración de CO_2 en el sistema. Si la hoja confinada en la cámara está fotosintetizando, la concentración de CO_2 descenderá del sistema y lo seguirá haciendo hasta que llegue al punto de compensación de la fotosíntesis (Long y Hallgen, 1988).

No obstante, los estimadores de fotosíntesis como carbohidratos, peso específico y densidad estomática pueden ser más precisos que el analizador de gases en el infrarrojo pues al utilizar el IRGA puede existir variabilidad en luminosidad y concentración de O_2 y CO_2 (Cheng et al., 1992; Marini y Sowers, 1990).

2.13. Principio del Análisis de Gases en el Infrarrojo

El análisis espectroscopio en el infrarrojo es un método contemporáneo usado para determinar intercambio de gases. Es confiable, preciso y simple en comparación con otras técnicas. Se basa en que las moléculas de gases heteroatómicas absorben radiación infrarroja en longitudes de absorción característica. El análisis de gases en el infrarrojo ha sido usado en la medición de una amplia gama de moléculas de gases heteroatómicas incluyendo CO_2 , H_2O , NH_3 , CO , N_2O , NO e hidrocarburos gaseosos (Long y Hallgen,

1988). Este análisis depende de la absorción que el CO₂ hace de la luz infrarroja en el intervalo de 2.5 -25 μmol. el pico máximo de absorción de CO₂ se encuentra entre 2.7, 4.2 (banda principal) y 17 μmol (Lawlor, 1993).

2.14. Reguladores de Crecimiento

2.14.1. Generalidades

Las sustancias de crecimiento presentes de manera natural en la planta son conocidas comúnmente como hormonas; a las producidas sintéticamente se les conoce como reguladores del crecimiento. Las hormonas de las plantas (fitohormonas) son compuestos sintetizados en una parte de la planta que pueden o no translocarse a otras partes, donde, a concentraciones muy bajas, provocan respuestas fisiológicas. Las hormonas son identificadas como promotores (auxinas, giberelinas y citocininas), inhibidores (ácido abscísico) y etileno (hormona del crecimiento vegetal) (Naqvi, 1995). El uso de reguladores de crecimiento para controlar el crecimiento vegetativo en los cultivos agrícolas se ha incrementado dramáticamente; aunque muy poco se sabe del modo de acción en forma endógena (Jiao et al., 1997).

Los reguladores del crecimiento están implicados en el desplazamiento de asimilados en las plantas. Cuando una parte de la hoja se trata con citocininas, los aminoácidos y otros elementos nutritivos se ven atraídos hacia la parte tratada; se han observado resultados similares en plantas intactas. Las giberelinas y las auxinas, al igual que las citocininas, frecuentemente pueden provocar el desplazamiento de asimilados hacia la zona tratada (Weaver, 1985).

Cada regulador de crecimiento puede actuar de diferente manera sobre las diferentes piezas del sistema de fuente-demanda, y en la mayoría de los pasos:

carga del floema, transporte de larga distancia en tubos cribosos y descarga de azúcares de los tubos cribosos en el tejido demanda (Gifford y Evans, 1981).

Mientras que los niveles endógenos de giberelinas (Gas) son generalmente más altos durante los días largos en plantas de día largo (PDL), en plantas de día corto (PDC) los niveles de citocininas tienden a incrementarse durante los días cortos. Se ha reportado la inducción y la promoción de la floración en PDC por aplicación de citocininas. El efecto real (e.g. inducción, sensibilidad, o aún inhibición) depende de las concentraciones de GA y tiempos de aplicación (Eimert y Chen, 1997).

2.14.2. Thidiazurón (N-phenyl-N'-1,2,3-thidiazol-5-ylurea)

El thidiazurón (TDZ: N-phenyl-N'-1,2,3-thidiazol-5-ylurea) es un regulador de crecimiento con actividades similares a las citocininas, siendo más efectivo que la benzyladenina (BA) y relativamente más barato (Pierick, 1987). El TDZ ha sido reportado con una alta actividad citocinínica a bajas concentraciones; estos efectos semejantes a las citocininas en varias especies incluye promoción de callos y células, estimulación y proliferación de raíces in vitro y embriogénesis somática (Gribaudo y Fronda, 1991). Trabajos realizados por Yang, et. al. (1992) reportan que el TDZ también puede promover el desarrollo del fruto en pepino (*Cucumis sativus*), este efecto en el fruto es probablemente el resultado de los altos niveles de actividad citocinínica.

La actividad citocinínica del TDZ se detectó en un bioensayo para formación de callo con *Phaseolus lunatus* cv. Kingston, donde tuvo una mayor actividad que los derivados thidiazolylurea probados y excedió a la citocinina más activa del tipo adenina (Alvarado, 1997). TDZ rompe el paraletargo en manzano y promueve brotación lateral

más intensa sin necesidad de eliminar el ápice, habiendo crecimiento en un mayor número de yemas, aunque se observa una tendencia a disminuir el grado de brotación en dirección basipetala (Alvarado 1997). El TDZ ha sido utilizado con buenos resultados para la regeneración de plantas, desde especies herbáceas como la soya y leñosas como la pera (Mohamed y Splittstoesser, 1990). También ha sido reportado por varios autores como un defoliante en algodón, pero ha mostrado otras propiedades como regulador de crecimiento, dentro de las cuales está el estímulo de la división celular, siendo muy común en el cultivo de tejidos (Alvarado, 1997).

El Thidiazurón (TDZ) fue usado al principio como un defoliante para algodón, se ha utilizado en concentraciones bajas para estimular in vitro meristemas y la formación de tallos (Read, 1986).

El TDZ se ha reportado como un estimulador en la proliferación de raíces en varias especies leñosas en cultivo in vitro a bajas concentraciones (Gribaudo y Fronda, 1991). Gribaudo y Fronda (1991) reportan que el TDZ es efectivo en promover brotes fuera de crecimiento, así como incrementar el número de raíces desde un simple brote en uvas in vitro. Se han obtenido raíces adventicias in vitro derivadas de hojas, en genotipos de *Malus*, usando TDZ en el medio de regeneración (Korban et al., 1992).

El thidiazuron (N-phenyl-N'-1,2,3-thidiazol-5-ylurea) (TDZ) es un producto químico con actividad citocinínica, capaz de romper el paraletargo en manzano (Wang et al., 1994) y de reducir el número de unidades frío requeridas para lograr la brotación de yemas (Faust, 1989). Cuando el TDZ se aplica en verano en condiciones subtropicales al durazno 'Diamante', presenta un efecto igual o

superior en el adelanto de floración que la cianamida de hidrógeno (H_2CN_2) (Calderón y Rodríguez, 1997).

Reynolds et al. (1992) aplicaron TDZ en cuatro selecciones de uva, (*Vitis vinifera* L.) 'Sovereign Coronation', 'Simone', y las selecciones 495 y 535, en dosis de 0, 1 y 10 mg.L^{-1} cuando las bayas tenían de 5 a 6 mm de diámetro y en dosis de 0, 4 y 8 mg.L^{-1} cuando tenían de 9 a 12 mm. En la primera aplicación el TDZ incrementó peso del racimo y el peso de la baya y la acidez titulable en la selección 535 y 'Simone', y disminuyó los grados Brix en 535; mientras en la segunda aplicación incrementó linealmente el peso del racimo y de la baya, pero disminuyó linealmente los grados brix y el pH con los incrementos de la concentración. La acidez titulable aumentó en las selecciones 495 y 535, pero disminuyó en 'Sovereign Coronation' y 'Simone'.

Calderón y Rodríguez (2000) aplicaron 250 y 500 mg.L^{-1} de TDZ como promotor de la brotación a principios de otoño en durazno 'Diamante' y ciruelo japonés 'Corazón Rojo' en condiciones de clima subtropical. Obtuvieron alrededor del 90 % de yemas florales brotadas 35 días después de la aplicación de tratamientos en durazno: la concentración mayor superó significativamente al testigo comercial (cianamida de hidrógeno 5 ml.L^{-1} + citrolina 2 %). En ciruelo los resultados fueron similares, la aplicación de TDZ 250 mg.L^{-1} en arboles previamente defoliados en ambas especies promovió una floración de más del 85 % hacia mediados de octubre, lo cual significa un adelanto de ésta de alrededor de 40 días respecto al testigo sin aplicación, pero defoliado.

Wang et al., (1987) encontraron que el TDZ, induce la brotación de yemas, su desarrollo y puede modular los ácidos nucleicos y la biosíntesis de proteínas. Su

acción no está ligada con el nivel de ácido abscísico (ABA). Más tarde Steffens y Stutte (1989) aplicaron TDZ a 750 μM a yemas de árboles de manzano, determinando que sustituye las necesidades de frío en variedades de manzano de bajos, medianos y altos requerimientos, al inducir la brotación de la yema cuando se aplican antes de la acumulación de unidades frío. Los tratamientos utilizados consistieron en un testigo y aplicación de TDZ previo a la acumulación específica de frío. En tratamientos con acumulación de frío, los tallos se almacenaron en un cuarto frío a 4° C. El TDZ aplicado previo al frío reduce las unidades frío requeridas (CU= 1h a 4° C) favoreciendo la brotación. Los resultados sugieren que existen múltiples componentes del letargo en yemas y que la respuesta de yemas en letargo responde de manera diferente a los tratamientos de TDZ.

El modo de acción del TDZ no es conocido totalmente, sin embargo estudios realizados en yemas en paraletargo de manzano, indican que la permeabilidad de la membrana juega un papel importante; Wang y Faust (1990) mencionaron que los cambios estacionales de los lípidos en la membrana de las yemas de manzano en letargo de invierno a la brotación y crecimiento de la yema en primavera fueron similares al patrón general de metabolismo lípido inducido por el TDZ. Las yemas de manzano expuestas a las temperaturas bajas de invierno respondieron incrementando el grado de insaturación de los ácidos grasos de los lípidos de la membrana, cambiando la composición del grupo polar principal, incrementando el contenido de los fosfolípidos de la membrana y los niveles de esterol. En cambio, durante la brotación y el crecimiento de la yema, la tasa de esteroides a fosfolípidos disminuye. Lo anterior indica que la actividad metabólica de las yemas en letargo continúa a una tasa lenta y estos cambios en la composición de la membrana lípida pueden llevar a condiciones favorables para la brotación de la yema al final del invierno y el rápido crecimiento de la yema en la primavera.

Por otra parte, Liu *et al.* (1993) promovieron el crecimiento de yemas de manzano por medio de la poda de la yema terminal o por aplicación de TDZ; las yemas comenzaron a crecer inmediatamente después de los tratamientos, observándose

una cantidad mayor de agua libre en la yema. Wang *et al.* (1994), mencionaron que la poda y la aplicación de TDZ provocan el aumento de agua libre, los cambios en el movimiento del agua alteran la composición lípida de la membrana y ello induce el crecimiento en yemas laterales. Todas las yemas laterales, sin remoción de la yema terminal, se activan al ser tratadas con TDZ.

Alvarado *et al.* (2000) estudiaron la eficiencia del TDZ en ciruelo japonés 'Shiro' (*P. salicina* L.) en condiciones de invierno moderado, para estimular brotación y su influencia en las dimensiones del ovario. Los árboles fueron tratados con TDZ en tres concentraciones (50, 100 y 200 mg L⁻¹); los resultados indicaron que se adelantó el inicio de la floración, la época de floración plena y se acortó el tiempo entre estas etapas; por lo cual, se puede utilizar como estimulante de la brotación en ciruelo 'Shiro'. Con dosis de 100 mg L⁻¹ se incrementó el diámetro del ovario y el grosor de la pared del ovario en la yema floral en brotación. Almaguer *et al.* (2000) aplicaron promotores de brotación en ciruelo japonés 'Shiro' y 'Santa Rosa' para adelantar y uniformizar la brotación de yemas, asperjando los árboles con citrolina 2 % + TDZ 250 mg L⁻¹ y 500 mg L⁻¹ y el tratamiento más exitoso fue citrolina 3 % + TDZ a 500 mg L⁻¹. Estos tratamientos aceleraron la brotación de yemas de 19 y 15 días, respectivamente. Se evaluaron en 'Santa Rosa' los azúcares totales y prolina, observándose que la concentración de azúcares totales disminuyó cuando la brotación comenzó. También sugieren que la aplicación de citrolina + TDZ no tiene efecto sobre la prolina. La prolina es un aminoácido constituyente de proteínas, se sintetiza en las hojas y predomina durante el reposo, incrementándose antes de completar esta etapa y su acumulación se debe a condiciones de estrés. Márquez *et al.* (1999) utilizaron TDZ como estimulador de la brotación en vid (*Vitis vinifera* L.) 'Perlette' y Flame Seedless', pero no mejoró la brotación debido a que ya había acumulado las horas frío necesarias para brotar.

Jindal *et al.* (2003) observaron que al aplicar TDZ a plantas de Kiwi 'Allison', en floración, se induce un ligero raleo de frutos, incrementando el tamaño y peso final

de fruto. El incremento en tamaño es atribuido al incremento de niveles de citocininas naturales, lo cual provoca una mayor división de las células. El TDZ incrementa los sólidos solubles totales y disminuye los niveles de acidez. El aumento en el contenido de sólidos totales es atribuido a tasas altas de asimilación de fotoasimilados.

Calderón (2006) mencionó que el TDZ en plantas de zarzamora tiene un efecto de tipo hormonal del grupo de las citocininas, razón por lo cual promueve la división celular ocasionando crecimientos más rápidos y/o más vigorosos. La aspersion de TDZ, promueve la brotación de las yemas laterales, pero también se necesita promover la elongación o alargamiento de esas laterales, para lo cual se le adiciona AG₃ para alargar tallos. Ríos *et al.* (1997) mencionaron que la aplicación de 100 mg L⁻¹ TDZ aumentó el diámetro del tallo de plantas de frambuesa roja; y como resultado del efecto de anulación de la dominancia apical del tallo tratado se provocaron brotaciones laterales vigorosas. 50 y 100 mg L⁻¹ de TDZ detuvieron el crecimiento del tallo asperjado, retrasando la floración y sin incrementar rendimiento.

Galindo *et al.* (2003) mencionaron que la aplicación de TDZ a concentraciones de 100, 200 y 250 mg L⁻¹ combinado con AG₃ a 100 mg L⁻¹ en la producción forzada de otoño en zarzamora elevó significativamente el porcentaje de brotación de yemas, el área foliar y el número de frutos del cultivar Comanche y adelantó de 10 a 15 días floración y madurez de fruto. La aplicación de reguladores de crecimiento no afectó el contenido de sólidos solubles totales, ni la firmeza del fruto. La aplicación de TDZ a 200 mg L⁻¹ más AG₃ a 100 mg L⁻¹ permitió un rendimiento de 196 g de fruto por tallo en otoño (fuera de época).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización y Características del Sitio Experimental

La presente investigación se llevó a cabo en condiciones de invernadero en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Edo. de México, que se localiza a 19°29' latitud norte y 98°53' longitud oeste a una altitud de 2250 m. La precipitación anual es de 574 mm y la temperatura media anual de 15.35°C. De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1973), el clima es C(W0)(w)b(i'), que corresponde a un clima templado sub-húmedo con lluvias en verano, el porcentaje de lluvias invernales es menor al 5% del total. La temperatura media anual oscila entre 12 y 18 °C y la temperatura mínima del mes más frío se encuentra en el rango de -3 a 18 °C (García, 1973).

3.2. Material Vegetal

El presente trabajo se llevó a efecto de julio del 2007 a agosto del 2008. Para ello se utilizaron esquejes de vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews) del tipo criollo "Manza o Fina". Los esquejes que se utilizaron para establecer las plantas fueron de 80 cm aproximadamente con ocho yemas. El esqueje de planta fue un tallo color verde, succulento, cilíndrico y sarmentoso, formado por entrenudos de 10 a 15 centímetros de largo y de 10 a 15 mm de diámetro, con hojas alternas paralelinerves, gruesas y cerosas de 15 a 18 cm de largo y de 5 a 7 cm de ancho.

3.3. Establecimiento del Cultivo y Tratamientos

3.3.1. Acondicionamiento del Sitio de Experimental

Se acondicionó un invernadero de vidrio en el que se construyeron 3 casas de malla sombra con dimensiones de 2 x 2 m (una área total de 4 m²) y con una

altura de 2.5 m. Los niveles de sombra fueron 30, 50 y 70 % y fue dado por la porosidad de la malla plástica negra usada. Las casas se sujetaron con alambre galvanizado y se construyeron el 20 de julio del 2007.

Los esquejes de vainilla se adquirieron en San Rafael, Veracruz el 4 de julio del 2007 y se dejaron deshidratar durante los siguientes 15 días en un lugar fresco y seco. La plantación de los esquejes se realizó el 19 de julio del 2007, enterrando tres yemas del bejuco de vainilla (de 80 cm de longitud con 8 yemas en promedio) en un sustrato hecho con la mezcla de turba de musgo de origen canadiense (Peat Moss), Agrolita y tierra de la región en partes iguales contenido en bolsas de polietileno negro con capacidad de 10 L. La tierra usada fue del suelo del campo experimental del huerto "San José" del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Edo. México, cuya textura es arcillo-arenosa con una densidad aparente de 1.39 g cm^{-3} y una conductividad eléctrica de 0.55 dS m^{-1} (Rivas, 2003); tiene un pH de 6.36 y con una proporción de materia orgánica baja de 4.4 mg g^{-1} .

Al momento de realizar la plantación de los esquejes, éstos se sujetaron con rafia a tutores de madera de 1 m de altura, para proveer el sostén que requiere para su enraizamiento y durante su desarrollo inicial.

Durante los meses invernales del periodo de estudio (2007-2008) se adicionó calor mediante calefacción artificial eléctrica con dos calentadores operados por un controlador programable de tiempo ("timer") cuyo funcionamiento se accionó conforme se consideraba necesario en el invernadero, de acuerdo a las temperaturas ambientales prevalecientes. Desde el establecimiento de los esquejes, se registraron de manera constante las variables ambientales la temperatura, humedad relativa y luz.

3.3.2. Tratamientos

Se probaron nueve tratamientos en total, obtenidos de la combinación factorial 3 x 3 en el que se estudiaron 3 niveles de sombra artificial: 30, 50 y 70 % y aplicación de Thidiazurón a 0, 500 y 1000 mg L⁻¹.

Los diferentes niveles de sombra estudiados se proveyeron mediante las casas sombra descritas en el punto anterior y los tratamientos con Thidiazurón aplicados y las respectivas combinaciones se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos de sombra y aplicación de Thidiazurón (TDZ) evaluados en vainilla de Julio de 2007 a agosto de 2008 en Montecillo, Edo. de México en condiciones de invernadero.

Sombra (%) [*]	TDZ (mg L ⁻¹)	Tratamiento (% de sombra- mg L ⁻¹ TDZ)
70	0	70 - 0
	500	70 - 500
	1000	70 - 1000
50	0	50 - 0
	500	50 - 500
	1000	50 - 1000
30	0	30 - 0
	500	30 - 500
	1000	30 - 1000

* El nivel de sombra se dio con malla sombra de plástico negro.

La aplicación de Thidiazurón se realizó en una sola aspersion el 1 de febrero del 2008 entre las 8:00 y 9:00 horas, para evitar altas temperaturas que pudieran evaporar rápidamente el producto. La aspersion fue dirigida únicamente a las 3 primeras yemas arriba del brote primario; se utilizó un aspersor manual con capacidad de medio litro y el asperjado fue fino hasta llegar a punto de goteo o escurrimiento.

3.4. Manejo y Cuidado de las Plantas

El manejo del cultivo consistió en prácticas tradicionales, como conducción y sostén de los bejucos, deshierbes manuales, fertilización y control de plagas y enfermedades. El acomodo de guías, se realizó una vez por semana, como fue creciendo el brote primario de cada planta de vainilla. Al momento de que el brote primario creció más del metro de longitud, se empezó el acomodo de guías con hilo rafia sujeta con un alambre en la parte de arriba de la casa sombra, con el objetivo de guiar el crecimiento y facilitar la toma de datos.

Se realizó una aplicación mensual de 5 g del producto granulado NitrofosKa® (12-12-17) y una fertilización foliar con Bayfolán® a 2 ml L⁻¹ de agua. Para prevenir enfermedades se aplicó Captan a 1 gr L⁻¹ de agua. La aplicación se realizó con mochila manual de aspersion de 15 litros. La fertilización fue suministrada a partir del mes de julio del 2007 hasta agosto del 2008. Para mantener un adecuado y constante nivel de humedad en el sustrato se utilizó una manguera común con frecuencia de riego cada tercer día.

El control de malezas se realizó cuando fue necesario mediante deshierbes manuales con la finalidad de mantener libre de malas hierbas el sustrato del cultivo.

3.5. Registro y Medición de Variables

3.5.1. Variables Ambientales

Temperatura, humedad relativa y luz. En el invernadero, fuera de las casas de malla sombra, se registraron estas variables con ayuda de un medidor HOBO (Onset, Company Corporation) con un Data Logger incluido para el registro de los datos. El equipo se programó para mediciones horarias de la intensidad lumínica, la humedad relativa y la temperatura del aire. Se transfirieron los datos del “data logger” cada mes desde octubre del 2007 hasta mayo del 2008 a una computadora “lap top”.

3.5.2. Variables de Crecimiento

Número y Longitud y diámetro de brotes. Se contó el número de brotes laterales de cada planta. Cada 15 días durante el periodo de octubre del 2007 a junio del 2008, se midió la longitud y el diámetro del (los) brote(s) nuevo(s) en cada planta. La longitud del nuevo brote se midió a partir de la base del nuevo brote hasta el ápice de crecimiento del mismo. El dato de longitud fue acumulativo hasta la última fecha de la medición. El diámetro se midió en el brote primario con un vernier manual a la mitad de su longitud.

Número de hojas por brote. Esta cuantificación se realizó también quincenalmente en el periodo de de octubre del 2007 a junio del 2008, contando el número de hojas de los nuevos brotes; el número de hojas fue acumulativo hasta la última fecha de conteo.

Número de nudos por brote. Durante el mismo periodo de estudio, cada 15 días se contó el número total de nudos en el brote de cada planta.

3.5.3. Variables Fisiológicas

Intercambio Gaseoso. Las variables relacionadas con el intercambio gaseoso que fueron registradas y consideradas en este estudio fueron las siguientes:

- a) Tasa de fotosíntesis aparente ($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$).
- b) Transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$).
- c) Conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
- d) Concentración intercelular de CO_2 (ppm)

Todas estas variables fueron obtenidas con un sistema portátil medidor de fotosíntesis modelo LI-6200 provisto de un analizador de gases al infrarrojo (LI-COR, Inc, Lincoln, Nebraska, EE. UU.). Además, se registró y consideró la radiación fotosintéticamente activa (RFA) ($\mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$). .

Las mediciones se realizaron en cuatro ocasiones con periodicidad semanal en mayo los días 23 y 30, en junio los días 6 y 13. Para disminuir efecto de la hora del día en que se tomaron las mediciones, se alternó el orden de las mediciones de los diferentes niveles de sombra y al final, para su análisis, se promediaron los cuatro muestreos. Las determinaciones se hicieron para comparar únicamente los niveles de sombra. Se hizo una medición por planta, en ocho plantas como repeticiones, en una hoja madura y sana expuesta completamente a la luz prevaleciente en la respectiva casa sombra y con ubicación similar en el nuevo brote primario. Las mediciones se hicieron invariablemente entre las 8:00 y las 14:00 horas del día en condiciones de cielo despejado.

3.5.4. Variables de Crecimiento Foliar y de Materia Seca

Área Foliar. Al final del experimento, mediante un muestreo destructivo de cinco plantas por tratamiento como repeticiones, el día 14 de julio del 2008 se registró el

área foliar total por planta con un integrador de área foliar modelo LI-3100 (LI-COR, Inc., Lincoln, Nebraska, USA). También se midió el peso fresco (PF) de las mismas con una balanza OHAUS Explorer (con una precisión $\pm 0.01g.$) y posteriormente se obtuvo su peso seco constante en una estufa a 70 °C durante 72 horas.

Peso Específico de Hoja (PEH). El PEH se calculó mediante el cociente de peso seco total de hojas dividido entre el área foliar total estimada para cada planta.

Distribución de Materia Seca. Para cuantificar la distribución de la materia seca en los diferentes órganos de la planta como una variable respuesta afectada por los tratamientos, y como indicador de la distribución de carbono en los diferentes componentes de la planta, al final de la evaluación (17 de julio del 2008), se realizó un muestreo destructivo de cinco plantas por tratamiento como repeticiones. Los componentes de la planta: hojas, tallos de brotes laterales nuevos, raíces aéreas y raíces subterráneas se separaron y pusieron en bolsas de papel que se colocaron en estufas de laboratorio a 70° C para obtener el peso seco constante en tres días.

Acumulación Total de Materia Seca. El total de materia seca por planta se determinó de la suma del peso seco de todos los componentes de la misma obtenidos como anteriormente se describió.

3.6. Diseño Experimental y Análisis Estadístico

El experimento se condujo bajo un diseño de tratamientos factorial 3 x 3 con un diseño experimental de parcelas divididas en el que las parcelas grandes fueron las casas de malla sombra y las parcelas chicas fueron los tratamientos con TDZ. Se usaron cinco plantas como repeticiones por tratamiento considerando una planta como unidad experimental de lo cual resultó que se usaron 45 plantas en total en este estudio para todas las variables, excepto en las mediciones de

intercambio gaseoso en las cuales se usaron 8 plantas como repeticiones por tratamiento en los niveles de sombra. A los datos obtenidos se les realizó un análisis estadístico con el programa SAS[®] (Statistical Analysis System) consistente de análisis de varianza y cuando éste indicó diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey con un $\alpha \leq 0.05$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados de los análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias aplicadas a todas y cada uno de las variables medidas durante el desarrollo vegetativo del cultivo de la vainilla en el ciclo 2007 – 2008 en Montecillo, México por efecto de los tratamientos estudiados.

4.1. Condiciones Ambientales en el Invernadero

4.1.1. Temperatura

Las condiciones climáticas dentro del invernadero son dependientes de múltiples factores y tipos de material con los cuales está fabricado. En la Figura 1 se muestra la evolución de la temperatura promedio diaria dentro del invernadero durante el desarrollo de las plantas. La temperatura máxima registrada fue de 41.6 °C y durante cinco ocasiones fue superior a ésta; estas temperaturas regularmente se presentaron entre las 12:00 y 15:00 horas. La temperatura media fue de 22.8 °C, y la temperatura mínima promedio fue de 10.1 °C y sólo en dos ocasiones fue inferior a ésta y se presentó entre las 5:00 y las 8:00 horas.

En el proceso de aclimatación de las plantas, la temperatura es un factor importante que debe ser tomado en cuenta, debido a que cuando se maneja materia orgánica en sustratos, existen microorganismos que la degradan a temperatura altas (40 °C) y dejan de trabajar con temperaturas inferiores a 12 °C (Buckman y Brady, 1977). Debido a lo anterior, en climas cálidos, existe poca materia orgánica, debido a que se degrada rápidamente por hongos y/o bacterias. Mientras que en climas templados, los contenidos de materia orgánica son altos, lo cual se debe a que existe una mayor cantidad de bacterias que hongos y, por consecuencia, la degradación de la materia orgánica es más lenta.

4.1.2. Humedad Relativa

En relación a la humedad relativa, ésta fue de 91.9 % de las 24:00 a 7:00 horas y disminuyó hasta ser menor de 23.4 % a las 11:00 horas. En general, la menor humedad relativa se presentó de las 12:00 a 18:00 horas. La humedad relativa promedio fue de 51.3 % (Figura 2), lo que muestra que en general fue baja, con lo cual las condiciones de humedad relativa fueron desfavorables para el desarrollo de las plantas, toda vez que se indica que la humedad ambiental adecuada debe ser de 80% aunque con buena ventilación.



Figura 1. Temperatura promedio diaria registradas dentro del invernadero con el experimento de efecto de niveles de sombra y aplicación de TDZ en vainilla en el ciclo 2007 – 2008 en Montecillo, México.

La sobrevivencia de plantas está relacionada al porcentaje de humedad relativa que se tenga en el medio donde se desarrollan las plantas. Así, en la aclimatación de plantas de orquídeas Colombo et al. (2005) encontraron mayor porcentaje de sobrevivencia (90 a 98 %), cuando aplicaron riego automatizados creando una humedad relativa del 90 % en contraste cuando usaron riego normal la sobrevivencia fue de 72 a 98 % y tuvieron 72 % de humedad relativa.

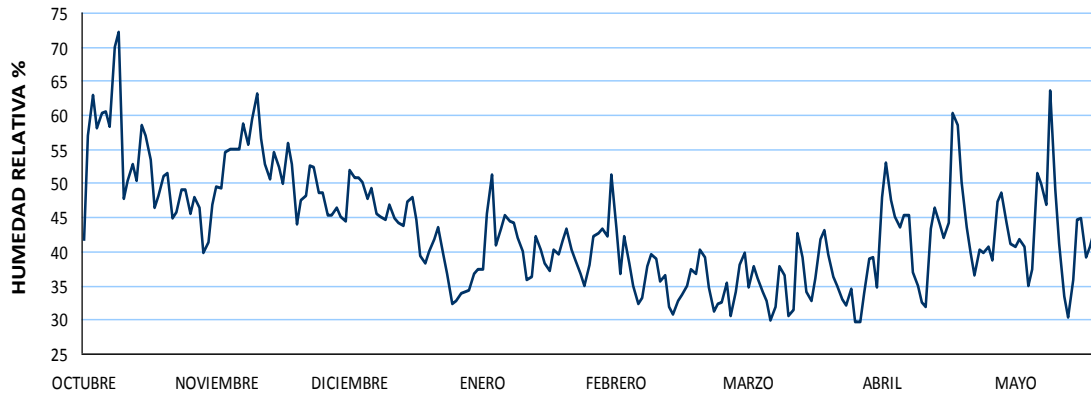


Figura 2. Humedad relativa promedio diaria registradas dentro del invernadero con el experimento de efecto de niveles de sombra y aplicación de TDZ en vainilla en el ciclo 2007 – 2008 en Montecillo, México.

4.1.3. Intensidad Lumínica

En relación con la intensidad luminosa, ésta fue de 20 lux de las 11:00 a 13:00 horas y disminuyó hasta ser menor de 4 lux. Lógicamente, la menor intensidad luminosa se presentó de las 20:00 a 6:00 horas. La intensidad luminosa promedio fue de 9 lux (Figura 3), lo que muestra que en general fue baja.

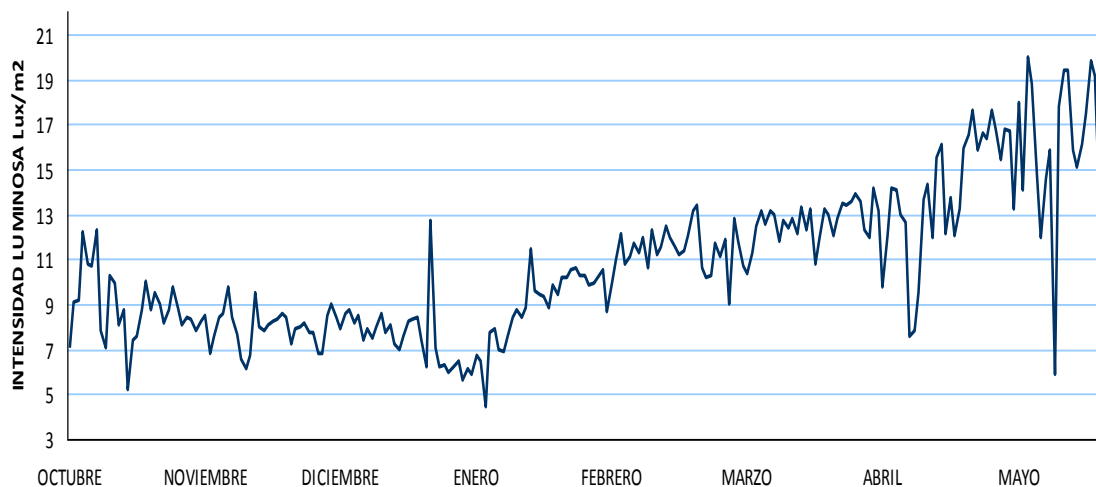


Figura 3. Intensidad lumínica promedio diaria registradas dentro del invernadero con el experimento de efecto de niveles de sombra y aplicación de TDZ en vainilla en el ciclo 2007 – 2008 en Montecillo, México.

Aunque no existen temperaturas y humedad relativa óptima para la aclimatación de plantas del género *Planifolia*, en el presente ensayo el riego fue manual y se aseguró que las plantas tuvieran condiciones favorables para su desarrollo.

4.2. Variables de Crecimiento

4.2.1. Longitud del brote

Como una variable de crecimiento, se determinó la longitud de la guía (altura de la planta) la cual se vio afectada por el efecto de los tratamientos, medido en forma acumulativa a diferentes tiempos después del trasplante (DDT).

La altura se midió 16 veces con intervalos de 15 días. La primera medición se realizó cuando apareció el brote primario de la planta que fue el 8 de octubre del 2007 (Figura 4).

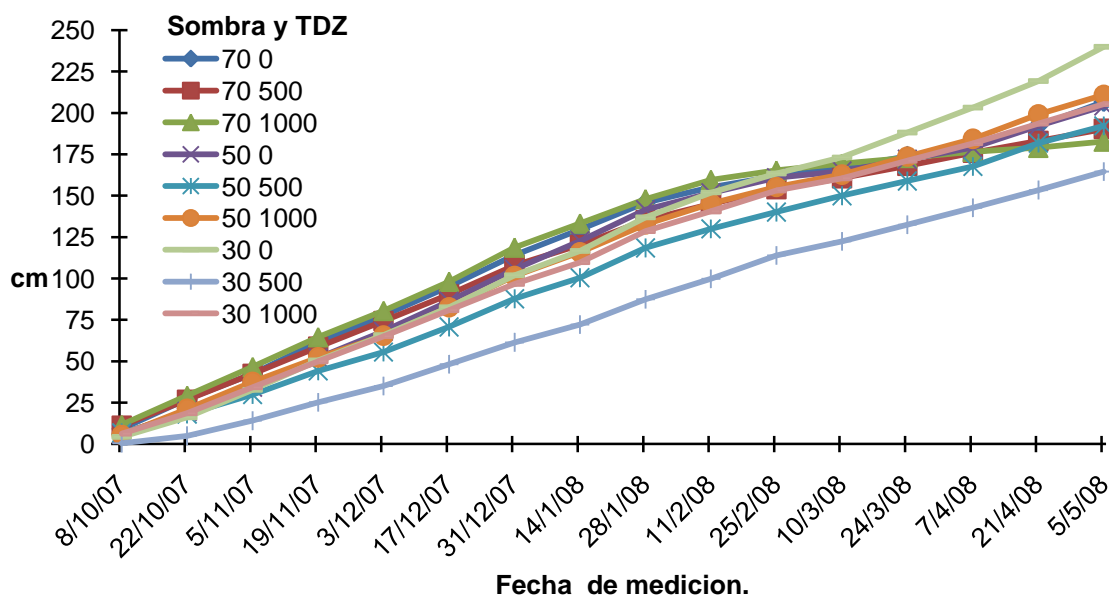


Figura 4. Efecto de niveles de sombra y aplicación de TDZ sobre la dinámica de crecimiento en longitud de brote a través del tiempo en vainilla en el ciclo 2007 – 2008 en Montecillo, México.

Los resultados finales se muestran en el Cuadro 2. Se observa que en el brote primario, el crecimiento fue mejor en el tratamiento T4 (con 214 cm), posteriormente los tratamientos T1 y T7 (con 197 y 189 cm, respectivamente). Estos tratamientos fueron los que no incluyeron la aplicación de TDZ; estos tres tratamientos fungieron como testigo sin aspersión de TDZ. En cuanto a la intensidad de sombra, el tratamiento T4 tuvo un sombreo del 50%, y el T1 tuvo una sombra del 70%, mientras que en el tratamiento T7 el nivel de sombra fue del 30%. De lo anterior se desprende que el mayor crecimiento del brote primario se obtuvo con un nivel de sombra del 50%, seguido de 70% y 30% de sombra. .

En los tratamientos que no incluyeron TDZ (T1, T4 y T7) no hubo crecimiento del brote secundario pero como se indicó arriba, el brote primario fue significativamente mayor (Cuadro 2). El brote secundario de mayor longitud se obtuvo con el tratamiento T3 (111 cm), siguiéndole los tratamientos T6 y T9 (85 y 78 cm), los cuales son tratamientos que incluyeron la aspersión de la dosis más alta de TDZ (1000 mg L^{-1}). Es apreciable que la longitud del brote secundario se incrementó de manera proporcional al aumento de la dosis de TDZ asperjada, independientemente del nivel de sombra en que las vainillas estaban creciendo (Cuadro 2). Bajo condiciones subtropicales en la región productora de Los Reyes, Michoacán, la aplicación de TDZ promueve la brotación de yemas laterales en zarzamora 'Tupy' (Calderón, 2006); ese más rápido crecimiento de las laterales es el resultado de un número mayor de células formadas y de la elongación de células individuales (Weaver, 1985).

No hubo diferencia significativa entre tratamientos en la longitud total de brotes de la planta de vainilla (Cuadro 2).

La existencia de diferencias significativas tan marcadas en el crecimiento del brote primario indica una interacción significativa entre los niveles de sombra y las dosis aplicadas de TDZ. Sin embargo, en la longitud del brote secundario se aprecia una falta de interacción significativa pues los diferentes niveles de TDZ se mostraron

siempre igual en los diferentes niveles de sombra. La longitud (Gundersheim y Pritts, 1991) puede afectar rendimientos, y para obtener mayores rendimientos se requiere de un rápido desarrollo de laterales (Hoover *et al.*, 1988).

Cuadro 2. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre longitud de brote (cm) primario, secundario y total en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

Tratamiento		Longitud de brote (cm)			
Numero	Sombra (%)	TDZ (mg L ⁻¹)	Primario	Secundario	Total
1		0	197 a b	0 c	197 a
2	70	500	128 c d	58 b	186 a
3		1000	86 d	111 a	197 a
4		0	214 a	0 c	214 a
5	50	500	122 c d	67 b	189 a
6		1000	147 b c	85 a b	232 a
7		0	189 a b	0 c	189 a
8	30	500	129 c d	50 b	180 a
9		1000	141 c d	78 a b	219 a
	DSM		113.34	87.611	128.76

Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferente (Tukey $\alpha=0.05$).

En la Figura 5 se observa la respuesta de longitud de brote a la aplicación de TDZ en los diferentes niveles de sombra. Es evidente que cuando uno es mayor el otro disminuye; es decir, hay una relación inversamente proporcional entre los crecimientos de uno o dos brotes, de lo cual resulta una ausencia de diferencias significativas en el crecimiento total por planta (considerando brotes primario y secundario) (Cuadro 2 y Figura 5).

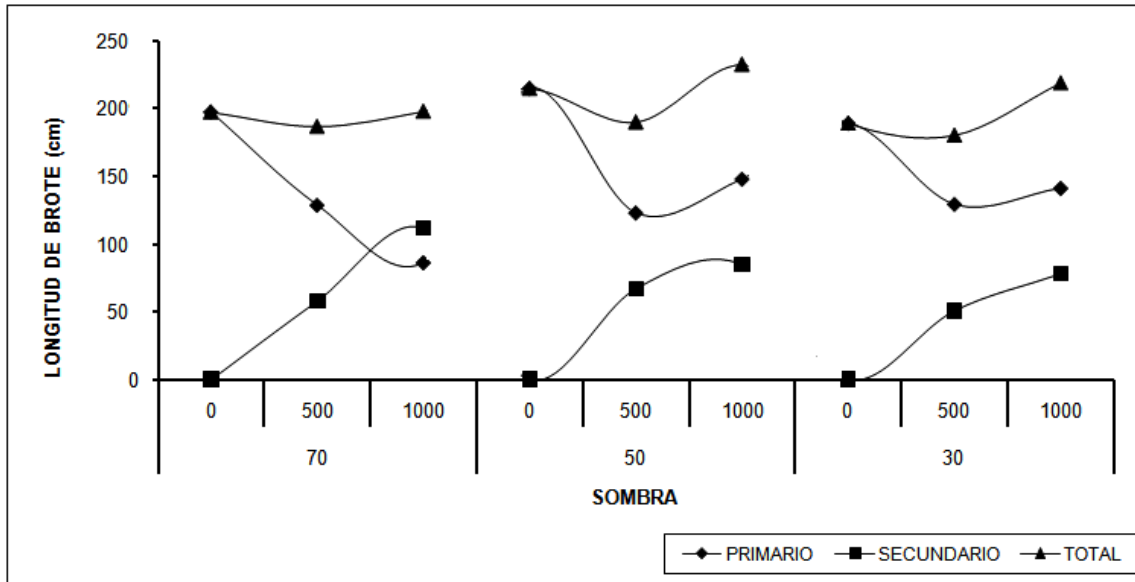


Figura 5. Efecto de niveles de sombra y aplicación de TDZ sobre la longitud final de brote (cm), en vainilla en el ciclo 2007 – 2008, bajo invernadero en Montecillo, México.

En la Figura 5 se observa que el brote primario disminuye su crecimiento cuando al incrementar la dosis de TDZ se promueve la emisión y crecimiento de un brote secundario. Algunos autores señalan al respecto que en manzano la aplicación de TDZ induce la brotación y mejoran el crecimiento de yemas laterales (Wang, 1994; Liu *et al.*, 1993).

En la Cuadro 3 se presentan las medias de la respuesta de crecimiento del brote total de la planta de los diferentes tratamientos en cuanto a la intensidad de sombra. Aunque el análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro A-2_), en la comparación de medias se aprecia en primer lugar el tratamiento 2 (50% sombra) seguidos los tratamientos 3 y 1 (30% y 70% de sombra) los cuales son significativamente iguales entre sí.

Cuadro 3. Efecto de sombra sobre longitud de brote (cm) en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

Tratamiento		Longitud de brote (cm)
Numero.	Sombra (%)	Total.
1	70	194 b
2	50	212 a
3	30	196 b
DSM		54.752

Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$).

En zarzamora la aplicación de TDZ (Calderón, 2006) promueve la brotación de yemas laterales. En la Cuadro 4 se muestran las medias del comportamiento de crecimiento del brote total de la planta de los diferentes tratamientos en cuanto a dosis de TDZ asperjado. El análisis de varianza (Cuadro A-2) detectó diferencias significativas entre los tratamientos figurando en primer lugar el tratamiento 3 (1000 mg L⁻¹) seguidos de los tratamientos 1 y 2 (0 y 500 mg L⁻¹) significativamente iguales entre sí. El mejor resultado fue el tratamiento 3 (1000 mg L⁻¹) al lograr crecimientos totales promedio de brotes de casi 6.5 m de longitud. Galindo-Reyes *et al.* (2003) mencionaron que en la producción forzada de otoño en zarzamora, la aplicación de TDZ a concentraciones de 100, 200 y 250 mg L⁻¹ combinado con AG₃ a 100 mg L⁻¹, elevó significativamente el porcentaje de brotación de yemas.

Cuadro 4. Efecto de TDZ sobre longitud de brote (cm) en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

Tratamiento		Longitud de brote (cm)
Numero	TDZ (mg L ⁻¹)	Total
1	0	200 ab
2	500	185 b
3	1000	216 a
DSM		58.098

Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$).

4.2.2. Diámetro de brotes

En cuanto al diámetro de brotes, el análisis de varianza mostró diferencias significativas en los diámetros de los brotes primarios, secundarios y promedio como componentes de la planta durante su desarrollo vegetativo (Cuadro A-3). En la cuadro 5 se presentan los valores promedio de diámetro de tallos de brotes primarios, secundarios y el promedio de ambos.

Cuadro 5. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre el diámetro de los brotes primario y secundario de la planta de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

Numero	Tratamiento		Diámetro de brote (cm)		
	Sombra (%)	TDZ (mg L ⁻¹)	Primario	Secundario	Promedio
1		0	0.74 b	0.00 c	0.74 a b c
2	70	500	0.59 c	0.70 b	0.64 b c
3		1000	0.73 b	0.68 b	0.70 c
4		0	0.89 a	0.00 c	0.89 a
5	50	500	0.72 b c	0.83 a b	0.78 a b c
6		1000	0.77 a b	0.85 a b	0.80 a b
7		0	0.80 a b	0.00 c	0.80 a b
8	30	500	0.80 a b	0.90 a	0.85 ab
9		1000	0.69 b c	0.84 a b	0.76 a b c
	DSM		0.1384	0.1967	0.1517

Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$).

Para el diámetro del brote primario es evidente que el tratamiento T4 (50 % de sombra y sin aplicación de TDZ) presenta el mayor grosor (0.89 cm) siendo significativamente igual con los tratamientos T6, T7 y T8 pero diferente con los tratamientos T1, T3, T5, T9 y T2 mostrado esté ultimo el menor diámetro (0.59 cm). Es apreciable que en general los tratamientos con elevado nivel de sombra (70%) tuvieron los menores diámetros de brotes primarios.

En relación con el diámetro del brote secundario, el mayor diámetro del tallo se presentó en el tratamiento T8 (0.90 cm) siendo significativamente igual con los tratamientos T5, T6 y T9 pero diferente con los tratamientos T2, T3 y los tratamientos T1, T4 y T7 (sin aplicación de TDZ) simplemente no tuvieron brotes secundarios. Es claro que la aplicación de TDZ en condiciones de mayor

luminosidad (menos sombra) promueve la brotación de más de un nuevo brote y de mayor diámetro. Rios *et al.* (1997) reportaron que la aplicación de 100 mg L^{-1} de TDZ aumentó el diámetro del tallo en plantas de frambuesa roja con 14 nudos de altura.

En relación con el diámetro de brote promedio de todos los brotes de la planta, el mayor diámetro se exhibió en el tratamiento T4 (0.89 cm) siendo significativamente igual con los tratamientos T1, T5, T6, T7, T8, T9 pero diferente con los tratamientos T2 y T3 mostrando estos últimos los de menor diámetro (0.64 y 0.70 cm). En general, es evidente que el mayor nivel de sombra (70 %) no favorece el diámetro promedio de brote debido a que tanto brotes primarios como secundarios son de menor diámetro.

Las mallas sombra del 50, y del 30%, aun incluyendo 0 mg L^{-1} TDZ, promueven engrosamientos mayores en el brote principal (pues debido a que no se aplicó TDZ, no hubo brotes secundarios). Este patrón de crecimiento fue similar durante todo el periodo observado. Según Dale (1986), el diámetro de los tallos vegetativos es una característica de vigor importante que afecta el rendimiento; en tallos con diámetros grandes el número de frutos y el porcentaje de frutos son mayores, lo cual ésta relacionado con la cantidad disponible de carbohidratos por nudo (Crandall *et al.*, 1974).

4.2.3. Número total de brotes

El rendimiento de tallos es resultado del producto del número de laterales por tallo, (Dale, 1976). Por lo tanto, si el tallo tiene más brotes laterales se obtendrán mayores rendimientos.

Hubo diferencias significativas entre tratamientos para la variable número total de brotes por planta (Cuadro A-4). En el Cuadro 6 se presentan los datos registrados del número total de brotes de los 9 tratamientos en los muestreos realizados a través del ciclo fenológico.

Al aplicar TDZ, el desarrollo de las yemas laterales se acelera, pues se acentúa el gradiente de brotación por efecto del rompimiento de la dominancia apical (Liu *et al.*, 1993); lo anterior se vio reflejado en esta investigación, ya que en plantas que no recibieron tratamiento, las yemas no brotaron y las de 500 mg L⁻¹ de TDZ brotaron casi por mitad que el tratamiento de 1000 mg L⁻¹ de TDZ.

En plantas sin reguladores de crecimiento (testigo), la brotación fue 0, Dale (1986) menciona que en los tallos principales el rendimiento se ve afectado por la arquitectura de fructificación de los tallos y vigor de la lateral; las laterales que desarrollan en la parte baja de la planta son mucho más largas y tienen más nudos que las que se originan cerca de ápice del tallo, lo cual les confieren un mayor potencial de producción.

Cuadro 6. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre el número total de brotes de la planta de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

Número	Tratamiento		Número de brotes
	Sombra (%)	TDZ (mg L ⁻¹)	
1		0	0 c
2	70	500	2 b
3		1000	4 a
4		0	0 c
5	50	500	2 b
6		1000	2 b
7		0	0 c
8	30	500	1 b c
9		1000	2 b
	DSM		1.5386

Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferente (Tukey $\alpha=0.05$).

Es evidente que el tratamiento T3 (con los mayores niveles de sombra y TDZ) presenta el mayor número de brotes (4) siendo significativamente diferente del resto de tratamientos, Ríos *et al.* (1997) mencionaron que la aplicación de dosis bajas de TDZ, como 10 mg L^{-1} , aumentó en plantas de frambuesa roja el diámetro de los tallos con brotación de laterales vigorosas; mientras que dosis altas como 50 y 100 mg L^{-1} de TDZ detuvieron el crecimiento del tallo productivo atrasando la floración, pero con aumento en el número de laterales sin afectar rendimiento.

El uso de TDZ incrementó el número de brotes laterales del esqueje de vainilla debido a su potente efecto citocinínico para promover la brotación de yemas laterales, como ya ha sido demostrado en frutales (Wang *et al.*, 1987; Liu *et al.*; 1993; Wang *et al.*, 1994; Alvarado 1997; Calderón y Rodríguez, 2000).

4.3 Variables Fisiológicas

4.3.1. Intercambio de gases

Las variables tasa de fotosíntesis aparente (Fa), conductancia estomática (CE), resistencia estomática (RS), concentración intercelular de CO_2 (CINT), y transpiración (Tr) fueron medidas en vainilla para comparar los 3 niveles de sombra. Los análisis estadísticos no mostraron diferencias significativas entre los niveles de sombra (Cuadro 5-A y Cuadro 8).

De acuerdo con Calderón (1993), los cambios de RFA durante las mediciones pueden afectar la Fa como una fuente de variación ajena a los tratamientos; al considerarla como covariable, al igual que la temperatura de la hoja, el análisis de covarianza indica si su efecto es o no significativo, si lo es, entonces por un procedimiento estadístico se minimiza la variación causada por la covariable mediante ajuste de medias por el procedimiento estadístico LS Means.

Así, los resultados analizados indicaron que el efecto de las covariables RFA y temperatura del aire no fue significativo sobre la Fa a pesar de que se ha establecido que la actividad fotosintética de las plantas está en función de la RFA incidente (Lawlor, 1993). En este trabajo, la RFA registrada dentro de las casas sombra durante la toma de datos, estuvo entre 73.64 y 307.53 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y la temperatura del aire fue de 24.78 a 30.96 °C (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores de radiación fotosintéticamente activa (RFA) y temperatura del aire durante las mediciones de intercambio de gases en vainilla. 2008. Montecillo, México.

Nivel de Sombra (%)	RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Temperatura del aire (°C)
23 de Mayo del 2008		
70	124.05	27.11
50	307.33	30.90
30	264.06	31.76
30 de Mayo del 2008.		
70	113.64	28.58
50	194.18	30.90
30	197.58	24.78
6 de Junio del 2008		
70	125.20	29.59
50	124.17	25.90
30	280.99	28.62
13 de Junio del 2008.		
70	73.64	27.65
50	213.19	30.96
30	265.18	32.50
Promedio de RFA y Temperatura del aire en cada nivel de sombra.		
70	109.13	28.23

50	209.72	29.67
30	251.95	29.42

Los resultados indicaron que no hay diferencias significativas entre niveles de sombra en ningún parámetro de intercambio de gases de las hojas de vainilla (Cuadro 8). No obstante, en ese mismo Cuadro se aprecia que conforme se aumenta el nivel de sombra, todas las variables fisiológicas de intercambio gaseoso se ven ligeramente favorecidas. Se observa que a mayor Tr le corresponde una mayor CE, lo cual es indicador de que hay una menor resistencia estomática. De acuerdo con Sánchez y Aguirreola (1993), la resistencia estomática es la que normalmente limita la tasa transpiratoria; esto se refleja en una correlación negativa y significativa.

Asimismo, a una mayor CE corresponde un valor mayor en Fa. Por ejemplo, el tratamiento 70% sombra registró la mayor CE ($0.52 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y la mayor Fa pero no hubo significancia con resto de los tratamientos. La mayor CE de este tratamiento se refleja en una numéricamente mayor tasa de fijación de CO_2 ($4.72 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Por otro lado, una mayor Fa se puede atribuir a una mayor CINT, contrario de lo que menciona Sánchez y Aguirreola (1993) y Osuna (1998) quienes indicaron que bajas concentraciones de CO_2 intercelular estimulan la apertura estomática.

La importancia de la luz en la apertura estomática durante el proceso de fotosíntesis ha sido mencionada por Marini y Sowers (1990), Calderón (1993), Syvertsen y Lloyd (1994) y Reyes (1997).

Los valores de CINT que se registraron durante las mediciones se encontraron en el intervalo de 335.30 y 367.13 ppm, lo que permite inferir que la difusión de CO_2 hacia el interior de las hojas es bajo.

Los relativamente bajos niveles de CE pueden probablemente atribuirse a un bajo déficit de presión de vapor a pesar de las considerablemente altas temperaturas registradas durante las mediciones (Khairi y Hall, 1976). Con esto se presentó una mayor Fa puesto que la RS se redujo en forma considerable registrando valores menores de 2 s cm^{-1} .

Cuadro 8. Tasa de fotosíntesis aparente (Fa), conductancia estomática (CE), concentración intercelular de CO₂ (CINT) y transpiración (Tr) en vainilla por efecto de tres niveles de sombra en Montecillo, México. 2007-2008.

Sombra	Fa	CE	CINT	Tr
	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	ppm	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
70 %	4.7250 a	0.52325 a	367.13 a	1.6635 a
50 %	3.8830 a	0.49900 a	352.13 a	1.5978 a
30 %	3.5658 a	0.46925 a	335.30 a	1.5010 a
DMS	2.2005	0.1468	59.242	0.4482

Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferente (Tukey $\alpha=0.05$).

Las orquídeas, en general presentan tasas fotosintéticas menores que las de manzano y *Prunus* (Flores y Lakso, 1989). Calderón (1993) registró en árboles de durazno valores máximos de $13.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ mientras que Reyes (1997) reportó en naranja 'Valencia', mandarina 'Dancy' y limón 'Persa' valores de tasas de fotosíntesis de 10.2, 10.1 y $8.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. El máximo valor registrado en este estudio fue de $4.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y el menor valor registrado fue de $3.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

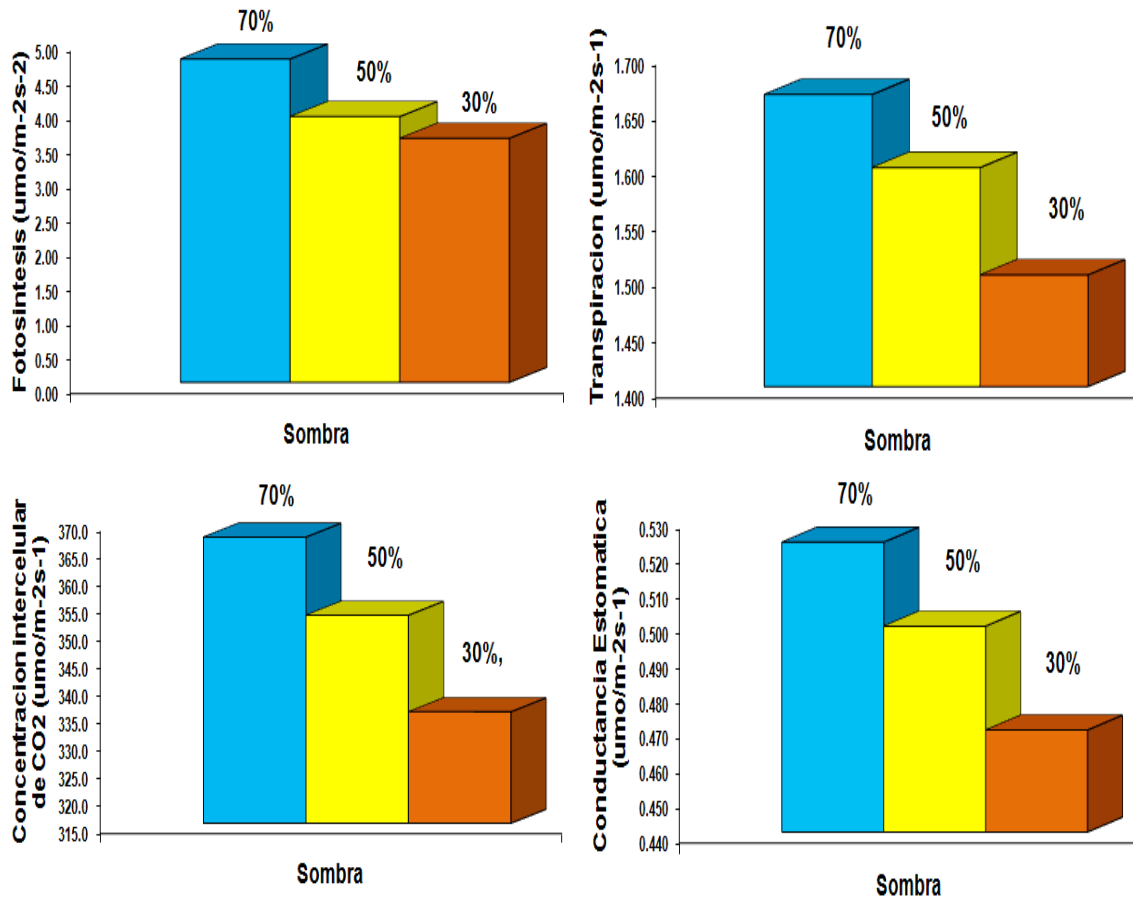


Figura 6. Efecto de tres niveles de sombra en la Tasa de fotosíntesis aparente (F_a), conductancia estomática (CE), concentración intercelular de CO_2 (C_{INT}) y transpiración (Tr) en vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

En la Figura 6 se muestra una clara tendencia en reducir su actividad fotosintética y demás factores asociados, conforme el nivel de sombra se hace menor. Esa disminución de F_a se debe probablemente a una respuesta a variaciones ambientales. Se presentaron problemas en el intercambio de gases al incrementar la temperatura puesto que con temperaturas mayores a $30\text{ }^\circ\text{C}$, probablemente se afecta considerablemente la tasa de asimilación de CO_2 . De acuerdo con Khairi y Hall (1976), la disminución fotosintética en árboles de *C. sinensis* y *C. paradisi* fue resultado del incremento de la temperatura y del déficit de presión de vapor entre la hoja y el aire. Bidwell (1979) señala que el efecto de temperatura y luz sobre la

fotosíntesis se relacionan entre si y que a su vez ellos dependen de diversas características fisiológicas de las plantas.

Otro aspecto notable se aprecia con el tratamiento 30% sombra mostrando en dos ocasiones del muestreo los valores más bajos de intercambio de gases; la menor tasa fotosintética registrada durante este estudio la llevó a cabo este tratamiento en el segundo y cuarto muestreo (Mayo y Junio de 2008). Así, 30% de sombra redujo hasta un 40% la pérdida de agua comparándolo con el cuarto muestreo. Esta disminución de T_r ocurrió al decrecer la CE ocasionado por el cierre estomático (Figura 5)

De igual forma, la C_e tuvo una respuesta similar a la transpiración. Para esta variable fisiológica, 70% sombra fue el tratamiento con mayor C_e en el primer, segundo y cuarto muestreo, reduciendo en segundo término durante el tercer muestreo (figura 5). Con esto se presentó que 70% sombra tuviera la mayor F_a en tres muestreos realizados; sin embargo estadísticamente no hubo diferencia significativa, por lo tanto, los 3 niveles de sombra son buenos.

Al comparar la conductancia estomática en sombra con respecto a las épocas de muestreo se notó una reducción en el tercer muestreo entre 0.683 y 0.274 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Calderón (1993) reportó datos de C_e entre 247 y 484 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para durazno y reyes (1997) en limón Persa registró 177 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante el mes de junio.

4.4. Variables de Crecimiento y Materia Seca

4.4.1. Peso específico de la hoja

Puesto que más del 90 % del peso de la planta es el resultado de la fotosíntesis, probablemente existe una correlación entre fotosíntesis neta y materia seca; esta puede variar entre cultivares (Daie, 1985).

El PEH está relacionado con la capacidad de producir tejido nuevo por las estructuras fotosintéticas de la planta y estima la cantidad relativa de tejido fotosintético en peso seco por unidad de área (Marini y Sowers, 1990). En el Cuadro 9 se presentan los resultados del peso específico de las hojas (PEH) en los dos diferentes brotes en crecimiento de la planta de vainilla. El análisis de varianza (Cuadro A-6) detectó diferencias significativas entre los tratamientos en los dos crecimientos de la planta de vainilla (brote primario y secundario). En el crecimiento del brote primario siempre se tuvo un PEH significativamente superior cuando la planta no fue tratada con TDZ (Cuadro 9). Los mejores tratamientos fueron 1, 4 y 7 (29.2, 15.6, 14.0 mg cm⁻²) el tratamiento 1 es de 70 % se sombra, el 4 es de 50 % de sombra y el 7 es de 30 % de sombra, lo cual demuestra que el valor de PEH es independiente del nivel de sombra pero todos los tratamientos son los que no tuvieron TDZ y en ellos no se estimuló el crecimiento de brote secundario alguno. Así pues, los resultados indican que no hay un efecto significativo de interacción entre los factores de estudio y que el nivel de no aplicación de TDZ siempre promueve mayor PEH, en todos los niveles de sombra. Es además, evidente que hay una relación directa negativa entre la dosis aplicada y el PEH, a mayor dosis, menor PEH, aunado a lo que menciona Raffo y Rodríguez (2007), cuando los valores de luz incidente no alcanzan los porcentajes requeridos, las hojas disminuyen la tasa de fotosíntesis produciendo una menor cantidad de fotoasimilados. Sin aplicación de TDZ simplemente no hubo brote secundario. Cuando se aplicó 500 o 1000 mg L⁻¹ de TDZ, el PEH es significativamente igual en los niveles de mayor sombreo; solamente en sombra

de 30%, el PEH es significativamente mayor cuando se aplicó la dosis menor (500 de TDZ mg L⁻¹). En aguacate se encontró que el PEH fue mayor en las hojas de la zona sur y a pesar del sombreado de las hojas de la zona norte de la copa, la actividad fotosintética en ambos lados fue la misma (Castillo-González *et al.*, 1998). En manzano se encontró que el PEH aumentó con la altura y en la cara norte de las plantas pero no fue influenciado significativamente por la poda en verde, aunque se observó una tendencia a ser mayor en las plantas podadas (Dussi *et al.*, 2004).

Cuadro 9. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre peso específico de hojas (mg cm⁻²) en brote primario y secundario en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

Tratamiento			Peso específico de la hoja (mg cm ⁻²)	
Numero	Sombra (%)	TDZ (mg L ⁻¹)	Primario	Secundario
1	70	0	29.2 a	0.0 d
2	70	500	11.0 b	5.6 c
3	70	1000	9.0 b	6.8 b c
4	50	0	15.6 a	0.0 d
5	50	500	12.0 b	10.8 a b
6	50	1000	10.4 b	6.8 b c
7	30	0	14.0 a	0.0 d
8	30	500	10.6 b	14.0 a
9	30	1000	9.8 b	2.8 c d
DSM			28.4	5.1

Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferente (Tukey $\alpha=0.05$).

Evans (1993) quien indica que al incrementarse la demanda de fotosintatos debido a que el fruto requiere grandes cantidades de carbono (Syvertsen y Lloyd, 1994),

la actividad fotosintética aumenta generando mayor acumulación de materia seca en las hojas que sirven como fuente de carbono.

En general, el PEH en crecimientos primarios y secundarios manifestó una respuesta similar en cuanto a la interacción con el nivel de sombra pero no así cuando se aplica TDZ o no. Puesto que el PEH ha sido utilizado como un índice de tasa fotosintética (Secor *et al.*, 1982), se puede inferir que las hojas de brotes primarios tienen mayor habilidad de acumular carbono en sus hojas, y que si existe un brote secundario (en este caso inducido por la aplicación de TDZ), el PEH puede ser menor.

4.4.2. Área foliar y número de hojas

Las hojas en la porción productiva del tallo son una fuente importante de asimilados para demandas de carbono siendo una fuerte influencia en la productividad del cultivo (Prive *et al.*, 1994).

El área foliar (AF) de toda la planta se midió al concluir el experimento. Los tratamientos 4 y 7 promovieron una significativamente mayor área foliar en los brotes primarios (Cuadro 10). Esos tratamientos corresponden a la no aplicación de TDZ en los niveles de media (50%) y baja (30%) sombra. Es muy claro y evidente que cuando se combinó la aplicación de TDZ con altos niveles de sombra, no se favoreció el crecimiento de área foliar; 70% de sombra con aplicación de TDZ provocó significativamente menor área foliar total por brote, especialmente con la dosis más alta de TDZ (1000 mg L^{-1}) (Cuadro 10), contrario a lo que mencionan Galindo-Reyes *et al.*, (2003) que reporta que la aplicación de TDZ a concentraciones de 100, 200 y 250 mg L^{-1} combinado con AG_3 a 100 mg L^{-1} elevó significativamente el área foliar en zarzamora.

En los brotes secundarios, el crecimiento en área foliar se muestra proporcional al aumento en la dosis aplicada de TDZ (Cuadro 10), lo cual es contrario a la relación

observada en PEH, donde la mayor dosis de TDZ ocasionó menores valores de peso específico de hoja (Cuadro 9).

Cuadro 10. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre área foliar (cm²) en brote primario, secundario y total en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

Tratamiento			Área foliar (cm ²)		
Numero	Sombra (%)	TDZ (mg L ⁻¹)	Primario	Secundario	Total
1		0	5616 b c	0 c	5616 b c
2	70	500	3503 d e	1740 b c	5243 c
3		1000	2799 e	3886 a	6685 a b c
4		0	7494 a	0 c	7494 a b
5	50	500	4341 c d e	2843 a b	7184 a b c
6		1000	4808 c d	3582 a b	8390 a
7		0	6728 a b	0 c	6728 a b c
8	30	500	4406 c d e	2059 a b	6465 a b c
9		1000	4916 b c d	3254 a b	8171 a
	DSM		372.68	382.03	443.71

Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferente (Tukey $\alpha=0.05$).

La mayor área foliar en brotes primarios al aplicar TDZ a dosis mayores compensa la menor área foliar obtenida en brotes primarios cuando se aplicó el regulador (Figura 7), y ello se constata en el área foliar total que es notablemente mayor cuando se tuvieron las combinaciones de dosis altas de TDZ con cualquier nivel de sombra (Cuadro 10 y Figura 7). La relación parece indicar que al tener un solo brote, se tiene más área foliar en ese brote, y aunque disminuye el crecimiento de ese brote primario al tener adicionalmente uno secundario, y se disminuye el PEH (Cuadro 9), la suma de área foliar total se ve favorecida al estimular el crecimiento de más brotes mediante la aplicación de Thidiazurón (Figura 7). Al final es notable

en la Figura 7 que al aplicar TDZ se aumenta el área foliar total; los mejores resultados se observan en condiciones de sombra intermedia y baja (50 y 30%). Aunado a lo que se reporta que la aplicación de TDZ a concentraciones de 100, 200 y 250 mg L⁻¹ combinado con AG₃ a 100 mg L⁻¹ elevó significativamente el área foliar en zarzamora (Galindo-Reyes *et al.*, 2003).

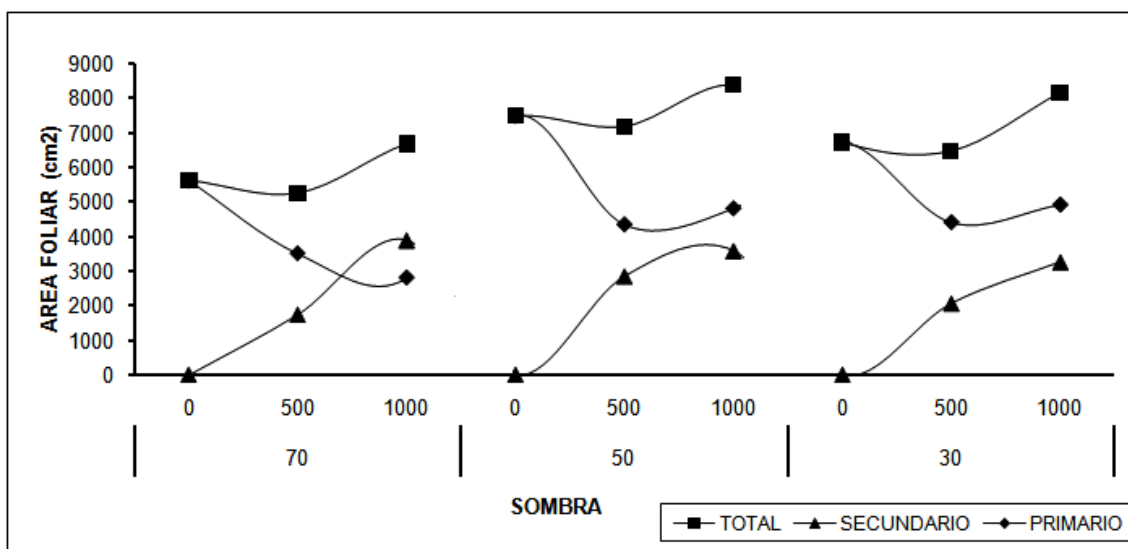


Figura 7. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre área foliar (cm²) en brote primario, secundario y total en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

El mayor número de hojas por planta se presentó en el tratamiento 7 (27.2 hojas), en contraste el menor número se obtuvo con el tratamiento 3 (23 hojas). Los demás tratamientos no presentaron diferencia estadística de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre el número de hojas totales de la planta de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

Numero	Tratamiento		Número de hojas.
	Sombra (%)	TDZ (mg L ⁻¹)	
1		0	25.6 a b c
2	70	500	24.6 a b c
3		1000	23.0 d
4		0	26.2 a b c
5	50	500	26.4 a b
6		1000	25.8 a b c
7		0	27.2 a
8	30	500	24.4 d c
9		1000	26.0 a b c
	DSM		1.878

Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferente (Tukey $\alpha=0.05$).

Al relacionar los Cuadros 11 y 10, se puede observar que no necesariamente la planta con mayor número de hojas tuvo la mayor área foliar. Esto se debió, que los tratamiento con mayor área foliar tuvieron hojas individuales de mayor tamaño y las plantas de los tratamiento que tuvieron mayor número de hojas, pero menor cantidad de área foliar fue debido a que sus hojas fueron seguramente de menor extensión foliar. Este aspecto pone en evidencia la importancia de considerar el área foliar entre otros aspectos fisiológicos de la hoja (Bidwell, 1990), dado que ésta tiene efectos directos en la fotosíntesis y con ello en el crecimiento y productividad de la planta.

4.4.3. Peso de biomasa fresca y seca de la planta

Puesto que más del 90 % del peso seco de la planta es el resultado de la fotosíntesis, probablemente existe una correlación entre fotosíntesis neta y materia seca. Esta puede variar entre cultivares (Deie, 1985).

Los tratamientos que tuvieron mejor desarrollo de la parte aérea, obtuvieron mayor peso de biomasa fresca y seca. Mientras que los que tuvieron menor crecimiento, obtuvieron el menor peso.

El mayor peso de biomasa fresca lo presentaron los tallos, así el tratamiento T4 superó a los demás tratamientos a excepción del tratamiento T7 que era igual estadísticamente. Para el peso de biomasa fresca de la hoja los tratamientos T4 y T7 tuvieron el mayor peso y superaba a los demás tratamientos estadísticamente. Mientras que para el peso de biomasa fresca de raíz el tratamiento T7 era superior a los demás. Por último el peso de la biomasa fresca de los zarcillos el tratamiento T7 era superior a los demás, pero estadísticamente igual al tratamiento T6, de acuerdo a la prueba de Tukey. (Cuadro 11).

Para el crecimiento secundario el mayor peso de biomasa fresca lo presentaron las hojas así el tratamiento T3 supero a los demás tratamientos a excepción de los tratamientos T6 y T9 que eran igual estadísticamente. Para el peso de biomasa fresca del tallo el tratamiento T6 supero a los demás tratamientos a excepción de los tratamientos T9, T3, T5 y T8 que eran igual estadísticamente, los tratamientos T1, T4 y T7 tanto en hoja y tallo presentaron 0 debido a que fue el testigo y por lo tanto no hubo crecimiento secundario (Cuadro 12).

Cuadro 12. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre peso de biomasa fresca (g) en hoja, tallo, raíz y zarcillos en brote primario y secundario en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

T.	Crecimiento primario (g)				c. secundario (g)	
	Hoja	Tallo	Raíz	Zarcillo	Hoja	Tallo
1	127.3 b	159.5 b	10.3 c	2.7 d	0 c	0 b
2	74.3 c d	79.7 c d	8.4 c	2.3 d	36.0 b c	40.5 a b
3	64.8 d	69.1 d	11.2 c	2.4 d	94.8 a	86.1 a
4	194.0 a	241.1 a	9.6 c	5.6 a	0 c	0 b
5	103.2 b c d	110.1 a b c	7.1 c	2.4 d	66.2 a b	72.1 a
6	119.4 b	132.1 b c	29.3 b	4.7 a b c	93.5 a	88.7 a
7	178.2 a	216.0 a	39.8 a	4.9 a b	0 c	0 b
8	107.7 b c d	114.6 b c d	25.7 b	3.3 b c d	55.2 a b	58.9 a
9	110.7 b c	127.8 b c	33.4 a b	3.1 c d	85.8 a	88.0 a
DSM	43.288	54.279	9.8029	1.7476	49.088	50.683

Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferente (Tukey $\alpha=0.05$).

T.= Tratamiento.

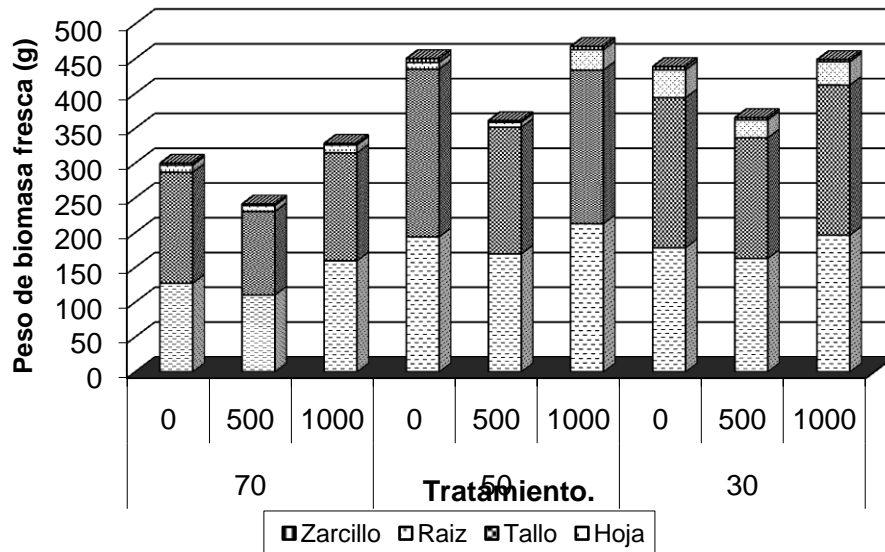


Figura 8. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre peso de biomasa fresca (g) en hoja, tallo, raíz y zarcillos en brote primario y secundario en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

La acumulación de materia seca ocurre al principio de la estación de crecimiento (Mohadjer *et al.*, 2001) y en tallos reproductivos durante la floración (Fernández y Pritts, 1994), ocasionando siempre estos procesos una gran demanda de carbono (Prive *et al.*, 1994).

El mayor peso de biomasa seca lo presentaron las hojas, así el tratamiento T4 supero a los demás tratamientos estadísticamente y los de mas tratamientos no hubo diferencia estadística. Para el peso de biomasa seca de tallo los tratamientos T4 y T7 tuvieron el mayor peso y superaba a los demás tratamientos estadísticamente y los tratamientos T2 y T3 son los que presentaron menor peso estadísticamente. Mientras que para el peso de biomasa seca de raíz el tratamiento T4 era superior a los demás. Las áreas de rápida acumulación de materia seca son los meristemas de los tallos vegetativos, frutos y meristemas de la raíz (Fernández y Pritts, 1994). Por último el peso de la biomasa seca de los zarcillos el tratamiento T4 era superior a los demás, pero estadísticamente igual a los tratamientos T6 y t7, de acuerdo a la prueba de Tukey. (Cuadro 12).

Para el crecimiento secundario el mayor peso de biomasa seca lo presentaron los tallos así el tratamiento T8 supero a los demás tratamientos a excepción de los tratamientos T6 y T9 que eran igual estadísticamente. Para el peso de biomasa fresca del tallo el tratamiento T6 supero a los demás tratamientos, los tratamientos T1, T4 y T7 tanto en hoja y tallo presentaron 0 debido a que fue el testigo y por lo tanto no hubo crecimiento secundario (Cuadro 13).

Cuadro 13. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre peso de biomasa seca (g) en hoja, tallo, raíz y zarcillos en brote primario y secundario en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

T.	Brote Primario (g)				B. Secundario (g)	
	Hoja	Tallo	Raíz	Zarcillo	Hoja	Tallo
1	9.9 b	16.1 b	2.0 c d	0.38 b	0 c	0 c
2	7.7 b	9.4 c	1.6 d	0.42 b	2.0 b c	2.9 a b
3	6.1 b	8.0 c	1.7 c d	0.38 b	5.3 a b	6.4 a b
4	24.8 a	22.9 a	3.9 a	0.88 a	0 c	0 c
5	10.7 b	12.3 b c	2.6 b c	0.44 b	6.3 a	5.7 a b
6	9.9 b	13.0 b c	2.4 a b c	0.64 a b	5.0 a b	5.5 a b
7	13.5 b	22.7 a	3.1 a b	0.58 a b	0 c	0 c
8	8.6 b	13.3 b c	1.7 c d	0.36 b	2.8 a b c	7.4 a
9	9.2 b	13.6 b c	2.5 a b c	0.46 b	4.6 a b	6.0 a b
DSM	10.791	5.7412	0.9452	0.3085	3.8986	6.8603

Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$).

T.= Tratamiento.

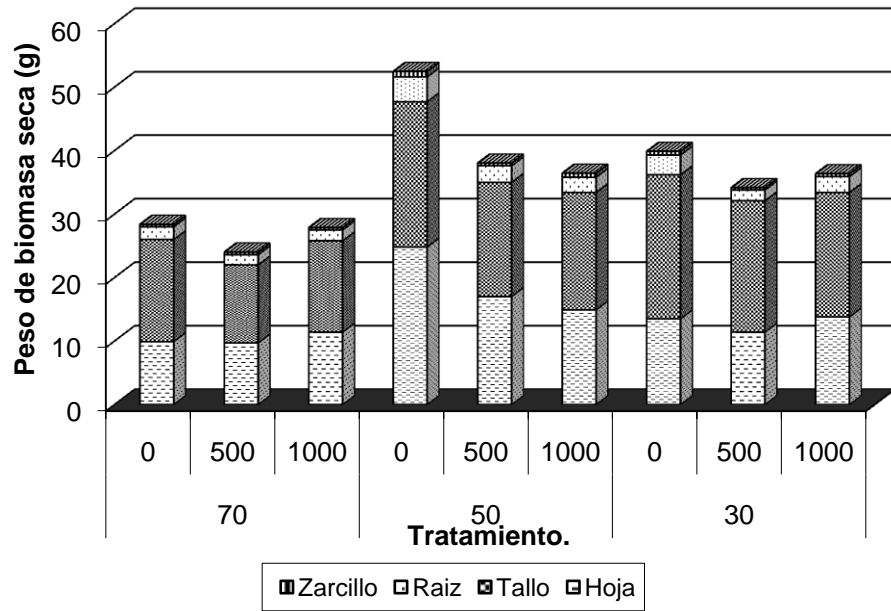


Figura 9. Efecto de sombra y aplicación de TDZ sobre peso de biomasa seca (g) en hoja, tallo, raíz y zarcillos en brote primario y secundario en plantas de vainilla bajo invernadero en Montecillo, México. 2007-2008.

V. CONCLUSIONES

- ✓ La planta de vainilla con 50 % de sombra, no requiere de TDZ para incrementar el crecimiento primario.
- ✓ Los tallos de las plantas que mostraron mayor crecimiento de diámetro fueron los de la malla sombra del 50 %, con 0 mgL⁻¹ TDZ.
- ✓ Las plantas con el mayor número de brotes fueron con 1000 mg L⁻¹ de TDZ y 70 % de sombra.
- ✓ En 30 % de sombra presentó la mayor pérdida de agua y en 70 % sombra registro la mayor CE, la alta CE de este tratamiento se refleja en el intercambio de CO₂ presentando la mayor de FT así como una máxima de RS.
- ✓ En 30 % sombra mostro los valores más bajos de intercambio de gases y la menor tasa fotosintética tratamiento.
- ✓ En 30 % de sombra redujo hasta un 40 % la perdida de agua.
- ✓ El peso especifico de las hojas con 0 mg L⁻¹ de TDZ en el crecimiento primario fue mejor, en cuanto a sombra no hubo diferencia estadística significativa, en el crecimiento secundario fue con 500 mg L⁻¹ de TDZ y en el crecimiento total fue con 0 mg L⁻¹ de TDZ y 50 % de sombra.
- ✓ Con 50 % de sombra y 0 mg L⁻¹ de TDZ tuvo la mayor área foliar del crecimiento primario, para el área foliar secundario con 70 % de sombra y 1000 mg L⁻¹ de TDZ y el área foliar total con 1000 mg L⁻¹ de TDZ y 50 % de sombra.

- ✓ El mayor número de hojas por planta se presentó en 30 % de sombra y 0 mg L⁻¹ de TDZ.

- ✓ Para el peso de biomasa fresca de la hoja con 0 mg L⁻¹ de TDZ con una sombra del 30 y 50 % tuvieron el mayor peso al igual que el peso de biomasa fresca de raíz y zarcillos.

- ✓ Para el peso de biomasa seca de tallo con 0 mg L⁻¹ de TDZ con una malla sombra del 30 y 50 % tuvieron el mayor peso al igual que el peso de biomasa fresca de raíz y zarcillos.

VI. LITERATURA CITADA

- Alconero, R. 1968. Vanilla root anatomy. *Phyton* 25(2): 103-110.
- Alconero, R., E. G. Stone and J. R. Cairns. 1973. Intensiva cultivation of vanilla in Uganda. *Agronomy Journal* 65:44-46.
- Almager-Vargas, G., J. R. Espinosa-Espinosa, A. Luna-Contreras, y J. C. Paz-Solórzano, 2000. Aplicación de promotores de la brotación en ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lind.) 'Shiro' y 'Santa rosa'. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6:111-115.
- Almaguer-Vargas, G, A. Larqué-Saavedra, J. Olivares, y E. A. Juárez. 1997. Algunas respuestas fisiológicas del durazno (*Prunus pérsica* L. Batsch) 'Diamante' a estrés hídrico y fertilización bajo condiciones de invernadero en Chapingo, México. *Revista Chapingo* 3: 53-58.
- Alvarado, R.H.E. 1997. Efecto de Thidiazurón sobre brotación y diferenciación floral en ciruelo japonés 'Shiro'. Tesis de Maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Alvarado-Raya, H., J. Rodríguez-Alcázar, G. Calderón-Zavala, y E. Cárdenas-Soriano, 2000. El Thidiazurón, la brotación floral y dimensiones del ovario en ciruelo Japonés (*Prunus salicina* L.) 'Shiro'. *Agociencia* 34: 321-327
- Anderson, P.C. and B.V. Brodbeck. 1988. Water relations and net CO₂ assimilation of peach leaves of different ages. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:242-248.
- Armitage, A. M. 1991. Shade affects yield stem length of field-grown cut-flower species. *Horticulture* 26(9): 1174-1176.
- Bidwell, R. G. S. 1979. Fisiología vegetal. Primera ed. en español. AGT Editor 784 p.

- Bouriquet, G. 1994. Le vaniller et la vanille. Encyclopédie Biologique. Vol. 49. Editions Paul Lechevalier, París. 784 p.
- Calderón Z., G., Rodríguez A., A. E. Becerril R., M. Livera M. y M. T. Colinas L. 1997. Fertilización foliar nitrogenada en la fotosíntesis y el desarrollo del durazno en producción forzada. *Agrociencia* 31:291-296.
- Calderón, Z. G. 1993. Fertilización foliar nitrogenada en el desarrollo y fotosíntesis de durazno en producción forzada. Tesis de maestría. C. P. Montecillo, México. 93 p.
- Calderón, Z. G. 2006. Producción forzada de zarzamora en México. III Simpósio nacional do morango, II Encontro sobre pequenas frutas e frutas nativas do Mercosul- Palestras. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1ra edición 67-78 p.
- Calderón-Zavala, G. y J. Rodríguez-Alcázar. 2000. Thidiazurón (N- phenyl-N¹- (1, 2,3- thidiazol-5-yl) urea) as a promoter of budbreak on peach (*Prunus persica* L. Batsch) and japanese plum (*Prunus salicina* Lindl). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6:117-120.
- Castillo-González, A. M., M. T. Colinas-León, M.L. Ortega-Delgado, A. Martínez-Garza y E. Avitia-García. 1998. Variación estacional de carbohidratos en hojas e inflorescencias de aguacatero (*Persea americana* Mill). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4: 13-18.
- Chaumont, M., J. Morot-Gaudry, and C. H Foyer. 1994. Seasonal and diurnal changes in photosynthesis and carbón partitioning in *Vitis vinifera* leaves in vines with and without fruit. *J. Exp. Bot.* 278: 1235-1243.
- Chen, C., C.C. Huang, and Y.D. Kang. 1998. The leaf growth and its photosynthetic potential in peach grown under rain separated cultivation system. *Acta Horticulturae* 465:379-387.

- Cheng, Z. H., L. C. Zhang, G. L. Wu, and S. L. Zhang. 1992. Photosynthesis og citrus under water stress. *Acta Agric. Universitatis-Zhejiangensis*. 18:60-66.
- Claridades agropecuarias, 2002. La vainilla en México, una tradición con alto potencial. www.infoaserca.gob.mw (fecha de revisión 10 de marzo 2008)
- Corre, D. S. 1990. Vanilla : Itshistory, cultivation and importante. *Lloydia* 7(3): 236-264.
- Crandall, P.C., D. F. Allmendinger, J. D. Chamberlain J. and K. A. Biderbost. 1974. Influence of cane number and diametrer, irrigation, and carbohydrates reserves on the fruit number of red raspberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 99:524-526.
- Curtí, D. E. 1995. Cultivo y beneficiado de la vainilla. Fondo Regional de Solidarios del Totonacapan, Papantla, Veracruz. Manuscrito inédito, México, 96 pp.
- Daie, J. 1985. Carbohydrate partitioning and metabolism in crops. p. 69-109. In: J. Janick (ed.) *Hortic. Rev.* Vol. 7. USA.
- Dale, A. 1976. Prospects for breeding higher yielding raspberries. *Acta Hort* 60: 159-167.
- Dale, A. 1986. Some effects of environment on red raspberry cultivars. *Acta Horticulturae* 183: 155- 161.
- DeJong, T.M. 1986. Fruit effects on photosynthesis in *Prunus pérsica*. *Physiol. Plant.* 66:149-153.
- DeJong, T.M. and J. Goudriaan. 1989. Modeling peach fruit growth and carbohydrate requirements: reevaluation of the double-sigmoid growth pattern. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 114:800-804.

- Dussi, M. C., R. González J., D. Sosa y G. Giardina. 2004. Poda de verano en manzanos red delicious sobre la calidad de la fruta y las hojas de los dardos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Tomo XXXVI N°2: 15-22.
- Eimert, K. and J. Chen. 1997. Mutual influence and Co regulation of Floral Initiation and Carbohydrate Metabolism. In: Pessaraki, M. *Handbook of Photosynthesis*. Marcel Dekker. Nueva York. 845- 958p.
- Esau, K. 1977. *Anatomy of seed plants* 2^a Ed. John Wiley and Sons, N. Y. p. 513-571.
- Escalona, J, E. Delgado, and H. Medrano. 1997. Irrigation affects grapevine photosynthesis. *Acta Horticulturae* 449:449-455.
- Evans, L. T. 1993. *Crops, evolution, adaptation and yield*. Cambridge University Press. Great Britain.
- Fanjul, L.; Arreola, R. R.; Mendez, C. M. 1994. Stomatal responses to environmental variables in shade and sun grow coffee plants in Mexico. *Experimental Agriculture*. 21(3):249-258.
- Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit tree*. John Wiley & Sons, Inc U.S.A. 338 pp.
- Fernandez, E. G. and M. P. Pritts. 1994. Growth, carbon acquisition, and source-sink relationships in 'Titan' red raspberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119:3: 1163-1168.
- Flore, J. A. 1994. Stone fruit. In *Handbook of environment physiology of fruit crops Vol. 1. Temperate crops*. Broce Schaffer. Peter C. Anderson (Editores) CRC Press. Inc.
- Galindo-Reyes, M. A., V. A. González-Hernández, A. Muratalla-Lua, M. R. Soto-Hernández y M. Livera- Muñoz. 2004. Producción forzada en zarzamora

'Comanche' mediante reguladores de crecimiento. Revista Chapingo Serie Horticultura 10: 205-209.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 252 p.

George, C. K. 1984. Vanilla culture. A Scientific approach. Journal Indian Cocoa, Arecanut and Spices 5(1): 1-3.

Gifford, M. R. and L. T. Evans. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. Annual Reviews of Plant Physiol 32: 485- 509

Gribaudo, A. y A. Fronda. 1991. Effects of thidiazuron on grapevine axillary buds cultivated in vitro. HortScience 26(8): 1083.

Guerra, F. 1992. Caracterización morfológica de diez introducciones de Vainilla "Vanilla sp". Instituto Tecnológico de Costa Rica. San Carlos.

Gundersheim, N. A. and M. P. Pritts. 1991. Pruning practices affect yield, yield components, and their distribution in 'Royalty' purple raspberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116:390-395.

Gunston, D. 1971. Vanilla flavour from an orchid. Arecanut & Ápices Bulletin 2(3): 11-12.

Harrison, R. D., J. W. Daniell, and J. M. Cheshire, Jr. 1989. Net Photosynthesis and stomatal conductance of peach seedlings and cuttings in response to changes in soil water potential. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114:986-990.

Hernández A., M. 1997. Crecimiento y reproducción de *Vanilla planifolia*. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

- Hoover, E., J. Luby, D. Bedford, and M. Pritts. 1988. Vegetative and reproductive yield components of primocane-fruiting red raspberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 113:824-826.
- Horsley, S. and K. W. Gottschalk. 1993. Leaf area and net photosynthesis during development of *Prunus serótina* seedlings. *Tree Physiol.* 12:55-69.
- Jiao, J., E. D. Leonardos and B. Grodzinski. 1997. Approaches to Measuring Plant Bioproductivity and Growth. In: Pessaraki, M. *Handbook of Photosynthesis.* Marcel Dekker . Nueva York. 699- 716 p.
- Jindal, K.K., J. S. Chandel, V. P. Kanan and P. Sharma. 2003 Effect of hand thinning and plant growth regulators: thidiazuron, carbaryl and ethrel on fruit size yield and quality of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* Chev.) Cv. Allison. *Acta Hort* 626: 407-413.
- Jorba J., L. Tapia, and D. Sant. 1985. Photosynthesis, leaf waterpotential, and stomatal conductance in *olea europaea* under wet and drought conditions. *Acta Horticulturae* 171:237-246.
- Kappel, F. and J. A. Flore. 1983. Effect of shade on photosynthesis, specific leaf weight, leaf chlorophyll content, and morphology of young peach trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:541-544.
- Khairi, M. M. A. and A. E. Hall. 1976. Temperature and humidity effects on net photosynthesis and transpiration of citrus. *Physiol. Plant.* 36:29-34.
- Korban, P.A., O'Connor and A. Elobeidy. 1992. Effects of thidiazuron, naphthaleneacetic acid, dark incubation and genotype on shoot organogenesis from *Malus* leaves. *J.Hort.Sci.* 67(3):341-349.

- Kumar, D.; Teszen, L. 1996. Some aspects of photosynthesis and processes in *Coffea Arabica* L. Kenya Cofee. 41(486).
- Lakso, A. N. 1985. The effects of water stress on physiological processes in fruit crops. *Acta Horticulturae* 171:275-289.
- Lawlor, D. W. 1993. Photosynthesis: molecular, physiological and environmental processes. 2nd. Ed. Longman Scientific Technical.
- León, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 2a. Ed. pp 79-81.
- Leur, C. A. 1972. The native orchid of Florida. The New Cork Botanical Carden. England. 293 p.
- Liahut, A. R. P. 1985. El sistema agroindustrial de vainilla, *Vanilla planifolia* Andr. en México. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Tesis profesional. 84 p.
- Liu, D., M. Faust, M. M. Millard, M. J. Line and G. W. Stutte, G. W. 1993. States of water in summer-dormant apple buds determined by proton magnetic resonance imaging. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 118: 632-637.
- Long, S. P. y J. E. Hallgren. 1988. Medicion de la asimilación de CO₂ por las plantas en el campo y el laboratorio. p. 52-78. En: técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. J. Coombs, D. O. Hall, S. P. Longs y J. H. D. Scorlock (eds) UNEP-CP-FUTURA.
- Loredo S. R. X. 1990. Etiología de la necrosis del tallo de vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews) en Papantla, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 80 p.

- Marini R. and D. Sowers. 1990. Net photosynthesis, specific leaf weight, and flowering of peach as influenced by shade. HortScience 52:331-334.
- Marini, R. and M. Marini. 1983. Seasonal changes in specific leaf weight, net photosynthesis, and chlorophyll content of peach leaves as affected by light penetration and canopy position. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108:600-605.
- Marini, R. P. and D.L. Sowers. 1990. Net photosynthesis, specific leaf weight and flowering of peach as influenced by shade. HortScience 25: 331-334.
- Marqu ez-Cervantes, J. A., R. Cano-Medrano y J. Rodríguez-Alcalzar. 1999. Thidiazuron, citrolina y unidades fr o en el rompimiento de letargo de yemas de vid (*Vitis vinifera* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 6:105-110.
- Miranda, J. C. and J. B. Royo D. 2002. Fruit distribution and early thinning intensity influence fruit quality and productivity of peach and nectarine tree. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127: 892-900.
- Mohadjer, P., B. C. Strik, B. J. Zebarth and T. L. Righetti. 2001. Nitrogen uptake, partitioning and remobilizaci n in 'Kotata' blackerry in alternate-year production. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 76:700-708.
- Mohamed-yasseen, Y. and W.E. Splittstoesser, . 1990. Regeneration of soybean (*Glicine max* L.) 'Merr'. From the seedling apex, stem node, cotyledonary node and cotyledosn. Pt. Growth reg. Soc. Amer. Quarterly 1:203-210.
- Montoya, H. F. 1963. Tecnología en el cultivo de la vainilla. Subsecretar a de Agricultura. S.A.G. México, D. F. 38 p.

- Muralidharan, A. 1973. New approaches on vanilla cultivation. In *Arecanut & Spices Bulletin* (5):9-10.
- Naqvi, S.S.M. 1995. Plant Growth Hormones: Growth Promoters and Inhibitors. In: M. Peosarakli *Handbook of Plant Physiology*. Marcel Dekker. Inc N. Y. 501-525 p.
- Navarro, G y Navarro. 2000. *Química agrícola*. Mundi presa. Madrid, España. 488 p.
- Nii, N. 1997. Changes of starch and sorbitol in leaves before and after removal of fruits from peach trees. *Ann. Bot.* 79:139-144.
- Osuna, E. T. 1998. Anatomía y fisiología de la floración de mango (*M. indica* L) cv Manila. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Mexico.
- Palmer, J.W., R. Giuliani and H.M. Adams. 1997. Effect of crop load on fruiting and leaf photosynthesis of 'Braeburn7M.26 apple trees. *Tree Physiol.* 741-746.
- Parra, Q. R. A. 1987. Cultivo in vitro y anatomía de óvulos de vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews). Tesis de maestría. Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Mex. 104 p.
- Parra, Q. R. A. 1984a. La vainilla. SARH - INIFAP – Campo Experimental Auxiliar Papantla. Folleto técnico N° 1. 20 p.
- Parra, Q. R. A. 1984b. El cultivo de la vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews) en la zona de Papantla, Veracruz. Tesis profesional, Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Cd. Delicias, Chih. 75 p.

- Pavel, E. W. and T.M. DeJong. 1993. Relative growth rate and its relationship to compositional changes of nonstructural carbohydrates in the mesocarp of developing peach fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118:503-508.
- Pennigton, C., Jiménez, F. A. and Theis T. 1954. A comparison of three methods of vanilla culture in Puerto Rico. *Turrialba* 4(2): 79-87.
- Pierick, R.L.M. 1987. *In vitro* culture of higher plantas. Martinus Nyhoff, Dordrecht, The Netherlands
- Prive, J. P., J. A. Sullivan, and J. T. A. Proctor, 1994. Carbon partitioning and translocation in primocane-fruiting Red raspberries (*Rubus idaeus* L.). *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 119:604-609.
- Purseglove, J. W. 1972. *Tropical crops monocotyledons*. Longmans. London pp 403-415. Purseglove, J. W., E. G. Brown, C. L. Green and S. R. J. Robbins. 1981. *Spices*. Vol. 2 Longman, New York 813 p.
- Raffo, B. M.D. y A. Rodríguez. 2007. Factores que afectan el porcentaje de fruta asoleada en manzanos Cv. Fuji en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 36: 131-146.
- Read, P. E., C. D. Fellman and M. A. Hosier. 1986. Effects of Thidiazurón and CPPU on meristem formation and shoot proliferation. *HortScience* 21: 244.
- Reyes, S. M. I. 1997. Evaluación de diferentes estimadores de fotosíntesis en tres especies de cítricos. Tesis de Maestría. C. P. Montecillo, Mexico.
- Reynolds, A. G., D.A Wardle, C. Zurowski, and N.E. Looney. 1992. Phenylureas CPPU and Thidiazuron affect yield components,

- fruit composition, and storage potential of four seedless grape selections. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117:85-89.
- Ríos, S. R. y J. Rodríguez, A. 1997. Aspersiones foliares de urea y ácido giberélico en la floración y rendimiento de frambuesa roja de otoño 'Autumn Bliss'. *Agrociencia* 31: 421-426.
- Ríos-S., R., J. Rodríguez-A. y Cano-Medrano. 1997. Reguladores de crecimiento en la producción de frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) 'Autumn Bliss' productora de otoño. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort* 41:124-128.
- Rivas, J. I. C. 2003. Fenología, nutrición y almacenamiento de reservas en la producción forzada de durazno 'Flordamex 1' en plantación intensiva en valles altos. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, México. p. 115.
- Rom, R. C. and R. F. Carlson. 1987. Roots. In *Rootstocks for fruit crops*. Willey & Sons. N. Y. p. 5-28.
- Sams, C. E. and J. A. Flore. 1982. The influence of age, position, and environmental variables on net photosynthetic rate of sour cherry leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:339-344.
- Sánchez, M. S. y R. A. Parra. 1988. Evaluación-Programación. Programa de Vainilla. SARH - INIFAP Campo Experimental Papantla, Ver., México. 61 p.
- Sánchez, D. M. y J. Aguirreola. 1993. Relación hídricas. p. 49-90. En: J. Azcón, B. y M. Talón (eds.) *fisiología y bioquímica vegetal*. Interamericana McGraw-Hill. España.
- Sánchez, M. S. 1993. Manual de producción de vainilla en el estado de Veracruz. Folleto técnico N° 6. 2ª edición. SARH-

INIFAP Campo Experimental Papantla. Papantla, Veracruz, México. 28 p.

Sanchez, M. S. 1997. características de los principales sistemas de producción comercial de vainilla *Vanilla planifolia* Andr. en Mexico. Tesis de maestria. Colegio de posgraduados, Texcoco, Mexico, 104 pp.

SAS Institute. 1998. SAS/STAT User's Guide. Release 6.03 edition. Cary, N. C. USA. 1028 p.

Schaffer, B., A. W. Whiley, and R.R. Kohli. 1991. Effects of leaf age on gas exchange characteristics of avocado (*Persea Americana* Mili.). *Scientia horticulturae* 48:21-28.

Secor, J. D. R. McCarty, R. Shibbes, and D. E. Green. 1982. Variability and selection for leaf photosynthesis in advanced generations of soybean *Crop Sci.* 22:255-258.

Steffens, G. L. and G. W. Stutte. 1989. Thidiazuron substitution for chilling requirement in three apple cultivars. *J. Plant Growth Regul* 8:301-307.

Syversten, J. P. and J. J. Lloyd. 1994. Citrus. p. 65-99. In: B. Shafer and C. Andersen (eds). *Handbook of environmental physiology of fruit crops. Vol II* CRC Press.

Wang, S. Y. and M. Faust. 1990. Changes of membrane lipids in apple buds during dormancy and budbreak. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 115:803-808.

Wang, S. Y., M. Faust and M. J. Line. 1994. Apical dominance in apple (*Malus domestica* Borkh); the possible role of indole-3-acetic acid (IAA). *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 119:1215-1221.

- Wang, S. Y., M. Faust and M. J. Line. 1994. Apical dominance in apple (*Malus domestica* Borkh); the possible role of indole-3-acetic acid (IAA). J. Amer. Soc. Hort. Sci 119:1215-1221.
- Wang, S. Y., Z. L. Ji, T. Sun and M. Faust. 1987. Effect of thidiazuron on abscisic acid content in apple bud relative to dormancy. Physiol. Plantarum 71:105-109.
- Watad, A. A.; G. Luria and A. Borochoy. 1999. Aconitum: Effects of environmental condition and tuber size on growth, Flowering and tuber production. Scientia Horticulturae 81: 135-147.
- Weaver, R, J. 1985. Plant growth substances in agriculture. W. H. Freeman and Company, San Francisco, E.U. 622 p.
- Weier, T. E., C. R. Stoeking y M. G. Barbour. 1983. La raíz. En: Botánica. Universidad de California. Davis, EDA. Ed. Limusa. México, pp 161-177.
- Wünsche , J.N. and J.W. Palmer. 1997. Effects of fruiting on seasonal leaf and whole-canopy carbon dioxide exchange of apple. Acta Horticulturae 451:295-301
- Yang, Y. Z., Lin, D.C. and Guo, Z.Y. 1992. Promotion of fruit development in cucumber (*Cucumis sativus*) by thidiazuron. Sci.Hort. 50:47-51.

VII. ANEXO

Cuadro A-1. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo (Pr >F) para la longitud de brote en primario, secundario y total.

Variable	CME	CV	Pr >F
Longitud de brote			
Primario.	0.721840	18.02794	<0.0001
Secundario.	0.811869	41.91183	<0.0001
Total.	0.264971	15.37023	0.1529

Cuadro A-2. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo (Pr >F) para la longitud de brote en sombra y TDZ.

Variable	CME	CV	Pr >F
Longitud de brote			
Sombra.	0.478294	15.85939	0.2361
TDZ	0.478294	15.85939	0.0435

Cuadro A-3. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo (Pr >F) para el diámetro de brote en primario, secundario y total.

Variable	CME	CV	Pr >F
Diámetro de brote			
Primario.	0.636314	8.890544	<0.0001
Secundario.	0.953466	17.75009	<0.0001
Total.	0.534086	9.403335	0.0002

Cuadro A-4. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo (Pr >F) para el número de brotes totales.

Variable	CME	CV	Pr >F
Número de brotes			
Total.	0.769351	51.88112	<.0001

Cuadro A-5. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo (Pr >F) para fotosíntesis aparente, conductancia estomática, concentración intercelular de CO₂ y transpiración en vainilla sobre los 3 niveles de sombra.

Variable	CME	CV	Pr >F
Fa	0.392181	24.99566	0.3179
CE	0.879916	13.60563	0.5601
CINT	0.693714	7.768174	0.3258
Tr	0.874786	16.35747	0.5314

Cuadro A-6. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo (Pr >F) para el peso específico de hoja de brotes primario y secundario.

Variable	CME	CV	Pr >F
Peso específico.			
Principal.	0.192757	103.9921	0.4023
Secundario.	0.822797	47.14917	<.0001

Cuadro A-7. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo (Pr >F) para el área foliar en primario, secundario y total.

Variable	CME	CV	Pr >F
Área foliar.			
Primario.	0.752575	18.02728	<.0001
Secundario.	0.771245	47.47622	<.0001
Total.	0.522747	15.44950	0.0004

Cuadro A-8. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo (Pr >F) para el numero de hojas totales.

Variable	CME	CV	Pr >F
Numero de hojas.			
Total.	0.686695	3.536454	<.0001

Cuadro A-9. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo (Pr >F) para biomasa fresca en hoja, tallo raíz y zarcillo en crecimiento primario.

Variable	CME	CV	Pr >F
Biomasa fresca.			
Hoja.	0.824540	17.30023	<.0001
Tallo.	0.845950	18.73637	<.0001
Raíz.	0.888577	24.16009	<.0001
Zarcillo.	0.717964	23.76333	<.0001

Cuadro A-10. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo (Pr >F) para biomasa fresca en hoja, y tallo en crecimiento secundario.

Variable	CME	CV	Pr >F
Biomasa fresca.			
Hoja.	0.767149	49.06956	<.0001
Tallo.	0.744390	50.33258	<.0001

Cuadro A-11. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo (Pr >F) para biomasa seca en hoja, tallo raíz y zarcillo en crecimiento primario.

Variable	CME	CV	Pr >F
Biomasa seca.			
Hoja.	0.556435	46.17465	0.0001
Tallo.	0.798504	18.82043	<.0001
Raíz.	0.757076	18.59315	<.0001
Zarcillo.	0.593628	29.32909	<.0001

Cuadro A-12. Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) y prueba de significancia del modelo (Pr >F) para biomasa seca en hoja, y tallo en crecimiento secundario.

Variable	CME	CV	Pr >F
Biomasa seca.			
Hoja.	0.669365	64.27131	<.0001
Tallo.	0.495244	86.52484	0.0009