

APLICACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO PARA AUMENTAR LA RETENCIÓN DE FRUTOS DE *Vanilla planifolia* EN EL TOTONACAPAN, VERACRUZ, MÉXICO

APPLICATION OF LOCATED IRRIGATION SYSTEM TO INCREASE THE RETENTION OF FRUIT OF *Vanilla planifolia* IN THE TOTONACAPAN, VERACRUZ, MÉXICO

Gerardo Castro-Bobadilla^{1*}, Armando J. Martínez², María L. Martínez³, José G. García-Franco³

¹Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. 91000. Xalapa, Veracruz, México. (gerardocastro898@hotmail.com). ²Instituto de Neuroetología, Universidad Veracruzana. 91190. Xalapa, Veracruz, México. ³Red de Ecología Funcional, Instituto de Ecología, A. C. 91070. Xalapa, Veracruz, México.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de riego en la retención de frutos de *Vanilla planifolia* Andrews. Se diseñó y probó un sistema de riego localizado en huertos con tres tipos de manejo en el Totonacapan, Veracruz, México. Durante 2000 y 2001 se seleccionaron en huertos tecnificados (Te), semitecnificados (St) y tradicional (Tr) 40 tutores con plantas de vainilla por tutor y divididos en grupos de 10 individuos. Se suministró riego diariamente a las 18:00 h durante la temporada seca (mayo-junio) en cuatro tratamientos: 1) 1.0 L m⁻² de agua; 2) 0.5 L m⁻²; 3) 0.25 L m⁻²; 4) un grupo testigo sin riego. Mensualmente se cuantificó la permanencia de los frutos de vainilla en las plantas y se midió la cobertura arbórea en cada tipo de parcela para obtener el porcentaje de sombra. Se midieron el pH del suelo, temperatura, precipitación y humedad atmosférica. La retención de frutos no varió entre los años, la cual fue de 45 a 70 % y equivalente a 0.44 t ha⁻¹, este resultado es superior a la media nacional (0.22 t ha⁻¹). El huerto con manejo semitecnificado presentó una retención de 69.5 % de frutos, atribuible al riego y a las características del sistema de cultivo. La combinación de humedad del suelo y el manejo de los vainillales parece tener una fuerte influencia sobre la retención de frutos, lo cual mejora la condición del cultivo.

Palabras clave: suministro de agua, fructificación, sistemas de cultivo, vainilla, estrés hídrico.

INTRODUCCIÓN

El agua es un factor que limita el crecimiento en las plantas y el déficit hídrico puede manifestarse en la reducción de la tasa de

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: Junio, 2010. Aprobado: Febrero, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 281-291. 2011.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of the irrigation system on fruit retention of *Vanilla planifolia* Andrews. An irrigation system located in orchards with three types of management was designed and tested in Totonacapan, Veracruz, México. During 2000 and 2001, 40 host trees with vanilla plants per host tree and divided into groups of 10 individuals were selected in technical (Te), semitechnical (St) and traditional (Tr) orchards. Irrigation was provided daily at 18:00 h during the dry season (May-June) in four treatments: 1) 1.0 L m⁻² of water; 2) 0.5 L m⁻²; 3) 0.25 L m⁻²; 4) a control group without irrigation. Fruit retention of vanilla in the plants was monthly quantified and the tree cover in each type of plot to obtain the percentage of shade was measured. Soil pH, temperature, precipitation and atmospheric moisture were measured. The retention of fruits did not vary between years, which was 45 to 70 % and equivalent to 0.44 t ha⁻¹; this result is are higher than the domestic average (0.22 t ha⁻¹). The orchard with semitechnical management shows retention of 69.5 % of fruits, attributable to irrigation and cropping system characteristics. The combination of soil moisture and management of fields of vanilla crops seem to have a strong influence on fruit retention, improving the condition of the crop.

Key words: water supply, fructification, crop systems, vanilla, water stress.

INTRODUCTION

Water is a limiting factor for the growth of plants and water stress can manifest itself in reducing the growth rate, the floral display, the reproductive success, and leaf abscission (Fischer and Turner, 1978; Felker and Lee, 1992; Méndez-Natera *et al.*, 2007). However, each species

crecimiento, el despliegue floral, en el éxito reproductivo y la abscisión de las hojas (Fischer y Turner, 1978; Felker y Lee 1992; Méndez-Natera *et al.*, 2007). Sin embargo, cada especie presenta distintos niveles de tolerancia a la baja disponibilidad hídrica (Taiz y Zeiger, 2006).

El efecto del estrés hídrico en las plantas es de especial interés en los sistemas agrícolas, ya que su impacto causa pérdidas económicas; aunque su severidad depende del tipo de cultivo, clima y la duración de la sequía (Pereira, 2007). La escasez de agua afecta el potencial reproductivo presentándose aborto de flores y caída de frutos (Fischer y Turner, 1978; Taiz y Zeiger, 2006). En las plantas cultivadas estos efectos son indeseables, ya que se reduce la productividad esperada en un ciclo agrícola.

Debido al alto impacto económico por la sequía, se han desarrollado diversos métodos de riego (aspersión, surcos, goteo) para reducir los efectos de la escasez de agua (Gurovich, 1985). Además se ha evaluado la respuesta de diferentes cultivos a distintos niveles de sequía para determinar su efecto en la producción de frutos. Por ejemplo, la producción del tomate (*Solanum lycopersicum*) disminuye cuando el cultivo es sometido a estrés hídrico (Relf *et al.*, 2005); en algodón (*Gossypium hirsutum*) el crecimiento de estructuras vegetativas y reproductivas difieren a distinta intensidad de riego por goteo (Méndez-Natera *et al.*, 2007); y en frutales caducifolios como *Malus domestica*, *Prunus persica* y *Pyrus communis* dosis de riego diferentes mejoraron el rendimiento y el tamaño de los frutos (García Petillo *et al.*, 2003). A pesar de la utilidad de los sistemas de riego, su éxito depende de múltiples factores biológicos, la asistencia técnica y de la capacidad económica de los productores para adoptar nueva tecnología. Así, la implementación de riego requiere de evaluar el costo-beneficio (Santos *et al.*, 2000).

En México sólo alrededor de 6.5 millones ha tienen infraestructura de riego, mientras que cerca de 14.5 millones ha son de agricultura de temporal (CONAGUA, 2008). La vainilla es uno de los cultivos manejados con este esquema. Su producto es de importancia mundial, pues se usa como saborizante en bebidas y alimentos, o como esencia en perfumería y cosmética (Korthou y Verpoorte, 2007). Se reconocen 18 a 35 especies del género que son aromáticas; *Vanilla planifolia* Andrews (Orchidaceae) es la especie cultivada en 95 % de ocho regiones tropicales

presenta diferentes niveles de tolerancia a baja disponibilidad de agua (Taiz y Zeiger, 2006).

El efecto del estrés hídrico en las plantas es de particular interés en los sistemas agrícolas, ya que su impacto causa pérdidas económicas; aunque su severidad depende del tipo de cultivo, clima, y la duración de la sequía (Pereira, 2007). La escasez de agua afecta el potencial reproductivo apareciendo aborto de flores y caída de frutos (Fischer y Turner, 1978; Taiz y Zeiger, 2006). En las plantas cultivadas estos efectos son indeseables, ya que se reduce la productividad esperada en un ciclo agrícola.

Como resultado del alto impacto económico por la sequía, se han desarrollado diversos métodos de riego (aspersión, surcos, goteo) para reducir los efectos de la escasez de agua (Gurovich, 1985). Además se ha evaluado la respuesta de diferentes cultivos a distintos niveles de sequía para determinar su efecto en la producción de frutos. Por ejemplo, la producción del tomate (*Solanum lycopersicum*) disminuye cuando el cultivo es sometido a estrés hídrico (Relf *et al.*, 2005); en algodón (*Gossypium hirsutum*) el crecimiento de estructuras vegetativas y reproductivas difieren a distinta intensidad de riego por goteo (Méndez-Natera *et al.*, 2007); y en frutales caducifolios como *Malus domestica*, *Prunus persica* y *Pyrus communis* dosis de riego diferentes mejoraron el rendimiento y el tamaño de los frutos (García Petillo *et al.*, 2003). A pesar de la utilidad de los sistemas de riego, su éxito depende de muchos factores biológicos, la asistencia técnica y de la capacidad económica de los productores para adoptar nueva tecnología. Así, la implementación de riego requiere de evaluar el costo-beneficio (Santos *et al.*, 2000).

En México sólo alrededor de 6.5 millones ha tienen infraestructura de riego, mientras que cerca de 14.5 millones ha son de agricultura de temporal (CONAGUA, 2008). La vainilla es uno de los cultivos manejados con este esquema. Su producto es de importancia mundial, pues se usa como saborizante en bebidas y alimentos, o como esencia en perfumería y cosmética (Korthou y Verpoorte, 2007). Se reconocen 18 a 35 especies del género que son aromáticas; *Vanilla planifolia* Andrews (Orchidaceae) es la especie cultivada en 95 % de ocho regiones tropicales

presenta diferentes niveles de tolerancia a baja disponibilidad de agua (Taiz y Zeiger, 2006).

del mundo dedicadas a su producción, incluyendo México (Bory *et al.*, 2008).

A pesar de que *V. planifolia* es originaria de México, el área destinada a su cultivo se restringe a regiones con clima cálido y lluvia estacional en los estados de Chiapas, Hidalgo, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí y Veracruz. De la región del Totonacapan, estado de Veracruz, se obtiene 80 % de la producción nacional de vainilla, aunque es reducida (0.6 t ha^{-1}) y fluctuante (Gobierno del Estado de Veracruz, 2008). Esto se debe a dos factores: 1) la retención de los frutos se reduce hasta en 50 % por la baja disponibilidad hídrica durante su desarrollo, y 2) la variación del manejo y sombreado del cultivo (Castro-Bobadilla y García-Franco, 2007; Castro-Bobadilla, 2008). Además, un gran número de las parcelas de cultivos de vainilla carecen de infraestructura de riego, pues sólo 8 % de los productores tienen recursos económicos para regar por aspersión y la mayoría de los productores destinan áreas pequeñas para el cultivo (alrededor de 0.5 ha) y no hay fuentes de agua superficial o subterránea para riego (Gobierno del Estado de Veracruz, 2008). Por lo anterior, es necesario probar sistemas de riego alternativos y evaluar su factibilidad en la retención de frutos de vainilla.

Debido al tamaño promedio de las parcelas (0.5 ha) y el número de plantas de vainilla en ellas, en esta investigación se propone un método de riego manual que el productor pueda realizar. Se prueba un sistema de riego por goteo alternativo para abastecer de agua a las plantas de vainilla establecidos bajo los tres regímenes comunes de cultivo, para evaluar su efecto sobre la retención de frutos y cómo las variables ambientales influyen en la reproducción de la vainilla en huertos de la zona del Totonacapan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en cinco vainillales del Totonacapan, Veracruz, ubicados en los municipios Martínez de la Torre, Gutiérrez Zamora y Papantla ($20^{\circ} 10' - 20^{\circ} 27' \text{ N}$ y $96^{\circ} 47' - 97^{\circ} 26' \text{ O}$, altitud promedio 300 m). Cada parcela fue de 0.5 ha: 1) dos con manejo tecnificado (Te_1 y Te_2) que incluye uso de agroquímicos, riego por aspersión con la cobertura de dosel reducida, proporcionada principalmente por una especie de árbol (*i. e.*, *Erythrina americana*); 2) tres parcelas semitecnificadas (St_1 , St_2 y

of warm climate and seasonal rainfall in the states of Chiapas, Hidalgo, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí and Veracruz. In the Totonacapan region, Veracruz state, 80 % of the national vanilla production is obtained, although it is reduced (0.6 t ha^{-1}) and fluctuating (Government of the State of Veracruz, 2008). This is due to two factors: 1) the retention of the fruits is reduced by up to 50 % by the low availability of water during their development, 2) and variation of management and shading of the crop (Castro-Bobadilla and García-Franco, 2007; Castro-Bobadilla, 2008). Besides, a large number of vanilla cultivation plots lacks irrigation infrastructure, since only 8 % of producers have financial resources to water by sprinkler irrigation and most producers have small areas for growing vanilla (about 0.5 ha) and there are no sources of surface or underground water for irrigation (Government of the State of Veracruz, 2008). Therefore, it is necessary to test alternative irrigation systems and evaluate their feasibility in the retention of vanilla fruits.

Due to the average size of plots (0.05 ha) and number of vanilla plants in them, this research proposes a manual irrigation method that the producer is able to perform. An alternative drip irrigation system is tested to supply water to the vanilla plants established under the three common regimes of cultivation to evaluate its effect on fruit retention and how the environmental variables affect reproduction of vanilla in orchards of the Totonacapan region.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study was carried out in five fields of vanilla crops of Totonacapan, Veracruz, located in the municipalities of Martínez de la Torre, Gutiérrez Zamora and Papantla ($20^{\circ} 10' - 20^{\circ} 27' \text{ N}$ and $96^{\circ} 47' - 97^{\circ} 26' \text{ W}$, average altitude 300 m). Each plot was 0.5 ha: 1) two with technical management (Te_1 and Te_2) that includes agrochemicals use, sprinkler irrigation with reduced canopy cover, provided primarily by a tree species (*i. e.*, *Erythrina americana*); 2) three semi-technical plots (St_1 , St_2 , and St_3), fertilized with compost, half canopy cover (crown of more than two tree species, *i. e.*, *E. americana*, *Glyricidia maculate*) and occasional surface irrigation; 3) a plot with traditional management (Tr) that did not receive maintenance, with canopy cover provided by introduced and native trees (*i. e.*,

St₃), fertilizadas con composta, cobertura del dosel media (copa de más de dos especies de árboles; *i. e.*, *E. americana*, *Glyricidia maculata*) y riego superficial ocasional; 3) una parcela con manejo tradicional (Tr) que no recibió mantenimiento, con cobertura del dosel proporcionada por árboles introducidos y nativos (*i. e.*, *Bursera simaruba*, *Trema micrantha*, *Trichilia havanensis*, *Litsea glaucescens*, *Bahinia divaricata*, *G. maculata*, *E. americana*) y sin riego.

Especie de estudio

Vanilla planifolia es una orquídea terrestre trepadora y perenne, de tallo suculento, cilíndrico y sarmentoso; con hojas alternas paralelinerves, gruesas y cerosas de 18 cm de largo y 7 cm de ancho. Presenta raíces primarias poco profundas que ocupan un radio de hasta 1.20 m alrededor del tallo principal, y adventicias en los tallos que sujetan al tutor. Las flores son amarillo-verdoso claro y miden 5 cm (Correll, 1953). Las plantas desarrollan hasta 10 inflorescencias, con 12 o más frutos cada una (Dressler, 1993); sin embargo, en cultivo las plantas presentan de 1-8 inflorescencias con un promedio de 3.2 (± 1.88 ; EE) de frutos cada una (Castro-Bobadilla y García-Franco, 2007).

Trabajo de campo

En cada huerto se seleccionaron al azar 40 tutores (*i. e.*, *E. americana*, *B. simaruba*, *G. maculata*, *Inga* spp.). Cada uno tenía 14 a 25 bejucos de vainilla (Castro-Bobadilla y García-Franco, 2007). Los tutores con sus plantas de vainilla se dividieron en cuatro bloques de 10 individuos. Durante el periodo seco de mayo a junio ocurre la mayor pérdida de frutos por escasez de agua. Diariamente a las 18:00 h se regó cada grupo con el siguiente esquema experimental: 1) 1 L m⁻² de agua (equivalente a 1 mm de precipitación diaria); 2) 0.5 L m⁻² (equivalente a 0.5 mm de precipitación diaria); 3) 0.25 L m⁻² (equivalente a 0.25 mm de precipitación diaria); 4) lote testigo sin riego. Para regar se usaron recipientes de agua bolsas de plástico con asas (40×50 cm). Para un goteo lento (0.8 L h⁻¹) a cada bolsa se agregó tierra del mismo huerto formando una capa de 2.5 cm de espesor y se perforaron cinco pequeños orificios en el fondo. Antes de cada riego la tierra de las bolsas se saturó y así el agua llegó a las plantas en cada tratamiento. Este procedimiento se repitió durante dos años (2000-2001). Las plantas de los tratamientos con riego recibieron como excedente la precipitación natural y el lote testigo sólo recibió agua de lluvia. En la Figura 1 se muestra el promedio de precipitación mensual registrado en las estaciones meteorológicas cercanas a las parcelas durante los dos años de estudio (Papantla y Martínez de la Torre; CONAGUA, 2008), así como la precipitación más la cantidad de riego proporcionada

Bursera simaruba, *Trema micrantha*, *Trichilia havanensis*, *Litsea glaucescens*, *Bahinia divaricata*, *G. maculata*, *E. americana*) and without irrigation.

Species of study

Vanilla planifolia is a vine and perennial terrestrial orchid of a succulent, cylindrical and gnarled stem, with alternate parallel nerves, thick and waxy leaves of 18 cm long and 7 cm wide. It has primary, shallow roots that occupy up to 1.20 m radius around the main stem, and adventitious roots in the stems that hold the host tree. The flowers are light yellow-green and measure 5 cm (Correll, 1953). Plants develop up to 10 inflorescences, with 12 or more fruits each (Dressler, 1993); however, in cultivation plants have inflorescences of 1-8 with an average of 3.2 (± 1.88 ; EE) of fruits each (Castro-Bobadilla and García-Franco, 2007).

Field work

In each orchard 40 host trees were randomly selected (*i. e.*, *E. americana*, *B. simaruba*, *G. maculata*, *Inga* spp.). Each of them had between 14 and 25 vanilla vines (Castro-Bobadilla and García-Franco, 2007). Host trees with vanilla plants were divided into four blocks of 10 individuals. During the dry season from May to June when most of the fruit loss occurs due to water shortage. Each group was watered daily at 18:00 h under the following experimental scheme: 1) 1 L m⁻² of water (equivalent to 1 mm of daily precipitation); 2) 0.5 L m⁻² (equivalent to 0.5 mm of daily precipitation); 3) 0.25 L m⁻² (equivalent to 0.25 mm of daily precipitation); 4) control plot without irrigation. Irrigation was carried out using as water containers, plastic bags with handles (40×50 cm). To obtain a slow drip (0.8 L h⁻¹) land of the same orchard was added to each bag forming a layer 2.5 cm thick and five small holes were drilled at the bottom. Before each irrigation land of bags was saturated, thus the water reached the plants in each treatment. This procedure was repeated for two years (2000-2001). The plants of the treatments with irrigation received as surplus the natural precipitation and the control plot received water only from rainfall. Figure 1 shows the average monthly precipitation recorded at weather stations close to the plots during the two years of study (Papantla and Martínez de la Torre; CONAGUA, 2008), as well as the precipitation plus the amount of irrigation supplied during the experiment. The amount of water used in the irrigation represents an increase in the monthly precipitation.

The effect of adding water was evaluated monthly from April to November by counting fruits present in each plant of vanilla. As yet under cultivation the annual development and

durante el experimento. La cantidad de agua empleada en el riego representa un incremento en la precipitación mensual.

El efecto de la adición de agua se evaluó mensualmente de abril a noviembre contando los frutos presentes en cada planta de vainilla. Como aún bajo cultivo el desarrollo y reproducción anual de las plantas de vainilla es variable, durante el primer año se marcaron tres inflorescencias por planta, y en el segundo año se seleccionaron cinco inflorescencias por planta.

Con el objetivo de detectar asociación entre la producción-retención de frutos y algunas variables ambientales, mensualmente se evaluó la cobertura arbórea en cada parcela con un densiómetro convexo (Forestry Suppliers, Inc.), a partir de 30 puntos distribuidos al azar dentro de cada huerto. Además, contiguo a cada tutor se registró mensualmente la humedad del suelo con un medidor (Kelway® Soil pH & Moisture), y la humedad y temperatura atmosférica con un termohigrómetro digital que registra los valores máximos y mínimos.

Análisis estadísticos

Los datos de la retención de frutos se analizaron usando un análisis de varianza multivariado para medidas repetidas en el tiempo (ANDEVAmr). El modelo estadístico fue: $F = A + T + S + M$ más las interacciones, donde A es el año, T el tratamiento de riego en cuatro niveles con 10 repeticiones, S las seis parcelas de estudio ($T_r, T_{e_1}, T_{e_2}, S_{t_1}, S_{t_2}$ y S_{t_3}), y M la medida repetida en el tiempo debida a los conteos de frutos mensual en las plantas. Los datos fueron transformados a intervalos "rank" como se usa en las pruebas no paramétricas y después se aplicó un modelo lineal generalizado (GLM, ANOVA). Con esta combinación de técnicas estadísticas no se violaron los supuestos de homogeneidad de varianza y normalidad (Conover e Iman, 1981).

Los datos de cobertura del dosel registrados en cada huerto se transformaron en rangos y se compararon mediante un ANDEVA para medidas repetidas, y se realizó una prueba de Tukey. Las relaciones entre las variables ambientales y el número de frutos retenidos, se analizaron con la correlación de Spearman (Zar, 1996). El paquete estadístico usado fue JMP versión 6.0.0 SAS Institute, Inc.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de frutos registrado en cada tratamiento y en cada huerto fue diferente durante el estudio. Durante el 2000 todos los huertos produjeron mayor número de frutos al inicio del ciclo agrícola, comparado con el 2001 (Cuadro 1). En algunas especies de orquídeas un gran esfuerzo reproductivo de años

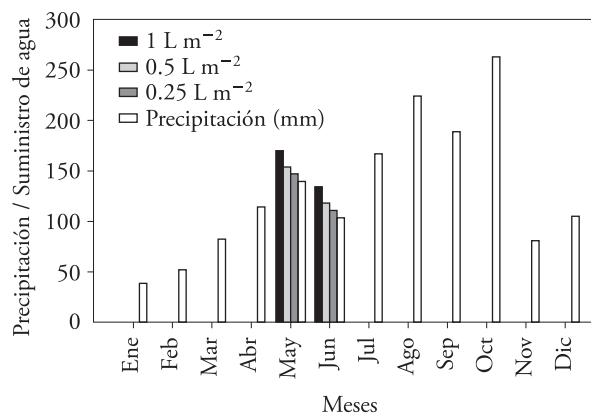


Figura 1. Precipitación promedio (línea punteada) registrada en la región de estudio durante el periodo 2000-2001 (fuente CONAGUA, 2008), y adición de agua en los tratamientos de riego probados en vainillales. Barras negras tratamiento 1 L m⁻²; barras con líneas tratamiento 0.5 L m⁻². Barras grises tratamiento de 0.25 L m⁻².

Figure 1. Average precipitation (dotted line) recorded in the study area during the period 2000-2001 (source CONAGUA, 2008), and addition of water in the irrigation treatments tested in vanilla fields. Black bars treatment 1 L m⁻²; bars with lines treatment 0.5 L m⁻²; gray bars treatment 0.25 L m⁻².

reproduction of vanilla plants is variable, during the first year three inflorescences per plant were scored, and in the second year five inflorescences per plant were selected.

In order to detect association between production-retention of fruits and some environmental variables, the tree cover was evaluated monthly in each plot with a convex densiometer (Forestry Suppliers, Inc.) from 30 points distributed randomly within each orchard. In addition, adjacent to each tutor soil moisture was recorded monthly with a Kelway® Soil pH & Moisture Meter, and humidity and atmospheric temperature with a Digital Thermo-Hygrometer that records maximum and minimum values.

Statistical analysis

Data from fruit retention were analyzed using an analysis of multivariate variance for repeated measurements in time (ANDEVAmr). The statistical model was: $F = A + T + S + M$ plus the interactions, where A is the year, T the irrigation treatment on four levels with 10 repetitions, S the six study plots ($T_r, T_{e_1}, T_{e_2}, S_{t_1}, S_{t_2}$ and S_{t_3}), and M the mean repeated over time due to monthly counts of fruits on plants. Data were transformed into "rank" intervals as used in nonparametric tests and then a generalized linear model was applied (GLM,

anteriores puede afectar los consecutivos, e incluso reducir el crecimiento (Calvo, 1990). Según Primack y Hall (1990), en *Cypripedium acaule* (Orchidaceae) un año con la alta producción de frutos redujo el número de estructuras reproductivas el siguiente. Apparently, the energy cost in reproduction exceeds the resources accumulated by the plants, and in the following growing season they do not reach to cover that deficit, generating a conflict in the assignment of the limited resources to the different functions (Hirshfield y Tinkle, 1975). In the orchards of vanilla it could be expected that the deficit of resources be covered by the agricultural inputs incorporated in the management. However, the reduction in the number of fruits from one year to the next suggests that the plants can have some physiological limit that does not allow them to take advantage of those nutrients or some level of incompatibility in the pollination (Bory *et al.*, 2008), which restricts a constant productivity, with the consequent fluctuation recorded in this study.

Despite having a lower number of fruits initially, the analysis indicates that the proportion of

ANOVA). With this combination of statistical techniques the assumed facts of homogeneity of variance and normality were not violated (Conover and Iman, 1981).

Data on the canopy cover recorded in each orchard were transformed into ranks and were compared by ANOVA for repeated measures, and a Tukey test was performed. To analyze the relationships between environmental variables and the number of fruits retained, the Spearman correlation was used (Zar, 1996). The statistical software used was the JMP version 6.0.0 from SAS Institute, Inc.

RESULTS AND DISCUSSION

The number of fruits recorded in each treatment and at each orchard was different during the study. During 2000 all the orchards produced a greater number of fruits at the beginning of the agricultural cycle, compared to 2001 (Table 1). In some species of orchids a large reproductive effort of previous years may affect the following years and even reduce the growth (Calvo, 1990). According to Primack and Hall (1990), in *Cypripedium acaule* (Orchidaceae) that a year with high fruit production

Cuadro 1. Número de frutos (inicial/final) y porcentaje de frutos retenido (entre paréntesis) por tratamiento de riego y por sistema de manejo de los huertos en los dos años de estudio.

Table 1. Number of fruits (initial/final) and percentage of fruits retained (between parenthesis) by the irrigation treatment and by the management system of orchards in the two years of study.

Parcela	Tratamientos de riego en el 2000				Tratamientos de riego en el 2001			
	1 L m ⁻²	0.5 L m ⁻²	0.25 L m ⁻²	Testigo	1 L m ⁻²	0.5 L m ⁻²	0.25 L m ⁻²	Testigo
Tr	100/58 (58)	238/154 (65)	188/72 (38)	204/101 (50)	232/158 (68)	212/127 (60)	227/126 (56)	378/201 (53)
St ₁	433/254 (59)	383/158 (41)	265/172 (65)	464/277 (60)	289/189 (65)	291/141 (48)	316/186 (59)	272/167 (61)
St ₂	556/372 (67)	302/247 (82)	275/83 (30)	588/411 (70)	295/161 (55)	302/158 (52)	302/177 (59)	298/202 (68)
St ₃	228/185 (81)	283/132 (47)	294/178 (61)	192/86 (45)	320/184 (58)	277/170 (61)	335/217 (65)	348/271 (78)
Te ₁	486/20 (4)	479/11 (2)	404/19 (5)	450/22 (5)	247/0 (0)	257/0 (0)	246/0 (0)	222/0 (0)
Te ₂	591/358 (61)	761/362 (48)	660/301 (46)	860/414 (48)	249/109 (44)	273/126 (46)	279/139 (50)	294/171 (58)
Total	2394/1247 (52)	2446/1064 (43)	2086/825 (40)	2758/1311 (48)	1632/801 (49)	1612/722 (45)	1705/845 (50)	1812/1012 (56)
		9684/4447 (46)			6761/3380 (50)			

Tradicional (Tr); Semitecnificado (St₁, St₂, St₃); Tecnificado (Te₁, Te₂) ❖ (Tr) Traditional; (St₁, St₂, St₃); Semi-technical (Te₁, Te₂) Technical.

frutos retenidos no fue diferente entre años ($F = 3$, $p > 0.05$), aunque sí entre los huertos y tratamientos de riego ($F = 38$, $p \leq 0.0001$, y $F = 4$, $p \leq 0.001$). Además, la interacción año \times sitio indicó diferencias significativas entre los sitios para el número de frutos retenidos ($F = 18$, $p \leq 0.001$), y en la parcela St_2 hubo la mayor retención de frutos el primer año. En cambio, en el segundo año la retención de frutos fue menor, y aunque entre los huertos la producción fue más homogénea, también hubo un notable descenso de frutos retenidos en Te_1 entre mayo y noviembre.

Los datos de los dos años de estudio agrupados por tratamiento de riego en cada parcela se presentan en la Figura 2. Contrario a lo esperado, los huertos con manejo tecnificado no tuvieron la mayor retención de frutos. El huerto Te_2 presentó una retención media en todos los tratamientos de riego (47-53 %), mientras que el Te_1 tuvo la menor retención (0-5 %). El huerto con manejo tradicional tuvo niveles intermedios de retención de frutos en todos los tratamientos (47-63 %). Los huertos semitecnificados tuvieron los valores más altos de retención de frutos (44.5-69.5 %) en todos los tratamientos de riego. En particular la parcela St_3 registró el valor promedio más alto de retención de frutos. Aparentemente el manejo en los sistemas

reduced the number of reproductive structures in the following year. Apparently, energy expenditure in reproduction goes beyond the resources accumulated by plants, and in the next growing season these resources are not enough to cover this deficit, creating a conflict in the allocation of limited resources to different functions (Hirshfield and Tinkle, 1975). In the vanilla crop, it could be expected that the resource deficit be covered by agricultural inputs incorporated in management. However, the reduction in the number of fruits of one year to another suggests that plants may have some physiological limitation that does not allow them to take those nutrients or some level of incompatibility in pollination (Bory *et al.*, 2008), which restricts a constant productivity, with the consequent fluctuation recorded in this study.

Despite having a smaller number of initial fruits, the analysis indicates that the proportion of fruits retained was not different between years ($F = 3$, $p > 0.05$), although it was among the orchards and irrigation treatments ($F = 38$, $p \leq 0.0001$, and $F = 4$, $p \leq 0.001$). In addition, the year \times site interaction indicated significant differences between sites for the number of fruits retained ($F = 18$, $p \leq 0.001$), and in plot St_2 there was the highest retention of fruits in the first year. In contrast, in the second year retention

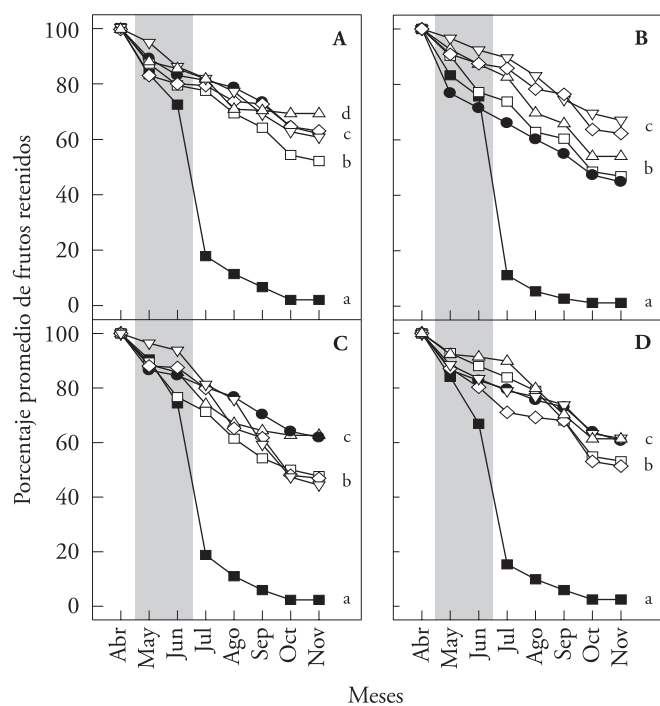


Figura 2. Porcentaje de retención de frutos de *Vanilla planifolia*, obtenidos durante el período de abril a noviembre (2000-2001) en los seis huertos de estudio y los cuatro tratamientos de riego. La banda gris representa el período de aplicación del riego localizado. A) 1 L m^{-2} ; B) 0.5 L m^{-2} ; C) 0.25 L m^{-2} ; D) testigo. (● = Tr; ■ = Te_1 ; □ = Te_2 ; ◇ = St_1 ; ▽ = St_2 ; △ = St_3). Las letras al final de cada tratamiento indican diferencias significativas para la última medida repetida.

Figure 2. Percentage of fruit retention of *Vanilla planifolia*, obtained during the period April to November (2000-2001) in the six orchards of study and the four irrigation treatments. The gray band represents the period of application of located irrigation. A) 1 L m^{-2} ; B) 0.5 L m^{-2} ; C) 0.25 L m^{-2} ; D) control. (● = Tr; ■ = Te_1 ; □ = Te_2 ; ◇ = St_1 ; ▽ = St_2 ; △ = St_3). Letters at the end of each treatment indicate significant differences for the latter measure repeated.

semitecnificados tiene características que permiten obtener una mayor producción de frutos de vainilla. Pero, el manejo y condiciones de la parcela Te₁ fueron completamente desfavorables, al extremo de perder la totalidad de la producción en los dos años de estudio.

La implementación del sistema de riego no favoreció la retención de frutos durante los meses de sequía, que corresponde con los primeros meses de su desarrollo y aún durante la temporada de lluvia la pérdida de frutos fue continua (Figura 2, banda gris). Lo anterior sugiere que a pesar de los cuidados por los agricultores, las plantas presentan restricciones que producen la pérdida de al menos 40 % de los frutos. Numerosas especies de orquídeas silvestres tienen bajo éxito reproductivo (*circa* 20 % del total de los frutos; Ackerman 1989, Rico-Gray y Thien 1987 Rodríguez-Robles *et al.*, 1992); aunque algunas especies pueden superar esa cifra, como *Plantanthera blephariglotis* 62 % y *Plantanthera ciliaris* 66-87 % (Cole y Firmance, 1984; Robertson y Wyatt, 1990). Sin embargo, la vainilla podría estar manifestando restricciones reproductivas filogenéticas que limitan la producción de frutos, a pesar del tiempo que ha estado sujeta a cultivo la vainilla (Papantla fue productor y exportador de vainilla desde el siglo dieciocho; Lubinsky *et al.*, 2008).

El sistema de riego utilizado y con la cantidad de agua suministrada no incrementó la productividad de vainilla en los huertos como se esperaba, y aunque los tratamientos con mayor riego (1 L m⁻² y 0.5 L m⁻²) tuvieron mayor retención de frutos la diferencia real no fue significativa (59.1 a 61.6 %). En general los huertos semitecnificados tuvieron la mayor retención de frutos en todos los tratamientos (Figura 2). Aparentemente la adición de agua y el manejo en esos huertos permitieron mejores resultados. Aunque no hubo un cambio significativo en la retención de frutos, es importante señalar el contraste al calcular una producción de 0.44 t ha⁻¹ de vainilla en las parcelas semitecnificadas estudiadas, con las 0.22 t ha⁻¹ registradas en México (Toussaint-Samat, 2002). Lo anterior sugiere que a pesar de no lograr la retención de frutos esperada, si fue suficiente para incrementarla al doble del promedio de la producción nacional general.

El promedio de cobertura del dosel en los huertos varió durante el estudio entre 80-90 % y hubo diferencias significativas entre ellos (F = 7,

of fruits was lower and, although among the orchards production was more homogeneous, there was also a significant decrease in fruit retention at Te₁ between May and November.

Data from two years of study grouped by irrigation treatment in each plot is shown in Figure 2. Contrary to expectations, orchards with technical management orchards did not show the highest retention of fruit. Orchard Te₂ showed an average retention in all treatments of irrigation (47-53 %), while Te₁ had the lowest retention (0.5 %). The orchard with traditional management had intermediate levels of retention of fruits in all treatments (47-63 %). The semi technical orchards had the highest values of fruit retention (44.5-69.5 %) in all irrigation treatments. In particular, the St₃ plot recorded the highest average value of fruits retention. Apparently the management in semi-technical systems has features that allow to obtain greater yields of vanilla fruits. But management and conditions of the Te₁ plot were completely unfavorable to the point of complete loss of production in two years of study.

The implementation of the irrigation system did not favor the retention of fruits during the months of drought, corresponding with the first months of their development and even during the rainy season fruit loss was continuous (Figure 2, gray band). This suggests that despite the care by farmers, the plants have restrictions which result in the loss of at least 40 % of fruits. Many species of wild orchids have low reproductive success (*circa* 20 % of the fruits; (Ackerman 1989, Rico-Gray and Thien 1987; Rodríguez-Robles *et al.*, 1992); although some species can exceed this figure, such as *Plantanthera blephariglotis* 62 % and *Plantanthera ciliaris* 66-87 % (Cole and Firmance, 1984; Robertson and Wyatt, 1990). However, vanilla could be manifesting reproductive phylogenetic constraints that limit production of fruits; despite the time that vanilla has been subject to cultivation (Papantla was producer and exporter of vanilla since the eighteenth century; Lubinsky *et al.*, 2008).

The irrigation system used and with the amount of water supplied did not increase the productivity of vanilla in the orchards as expected, and although the treatments with higher irrigation (1 L m⁻² and 0.5 L m⁻²) had higher fruit retention the actual difference was not significant (59.1 to 61.6 %). In general, the

$p \leq 0.0001$; Figura 3). El huerto Tr mostró baja cobertura de dosel respecto a las parcelas St₁, Te₁ y St₃, pero no fue diferente del St₂ y el Te₂. Este último tuvo un promedio de cobertura de dosel semejante a los St₁ y St₃. En cambio en el Te₁ se registró la mayor cobertura de sombra (86 %). Estos contrastes entre parcelas pueden ser parte del efecto de los sitios en la retención diferencial de los frutos registrada. En particular, la apertura del dosel es importante en el manejo de los vainillales para reducir la humedad y prevenir la presencia de enfermedades en las plantas (*i. e.*, *Fusarium batatis* var. *vanillae*, *Colospora vanillae*, entre otras; Castro-Bobadilla, 2008). La gran cobertura de dosel registrada en el huerto Te₁ puede estar relacionada con la pérdida extraordinaria de frutos durante el periodo de estudio. Sin embargo, una amplia apertura de dosel en el periodo seco pudo haber contribuido a la diferencia en la retención de frutos registrada, porque aunque el porcentaje de cobertura de los huertos no difirió entre meses ($F = 32, p > 0.05$), sí hubo diferencias en la interacción de huerto \times mes ($F = 12, p \leq 0.0001$).

Las variables ambientales registradas mensualmente: humedad y pH del suelo, temperatura y humedad relativa, y precipitación, no aportaron efecto de asociación con la retención de frutos (Spearman (r_s) $p > 0.05$). Esto sugiere que la retención de frutos puede estar asociada con otras variables (*v. gr.*,

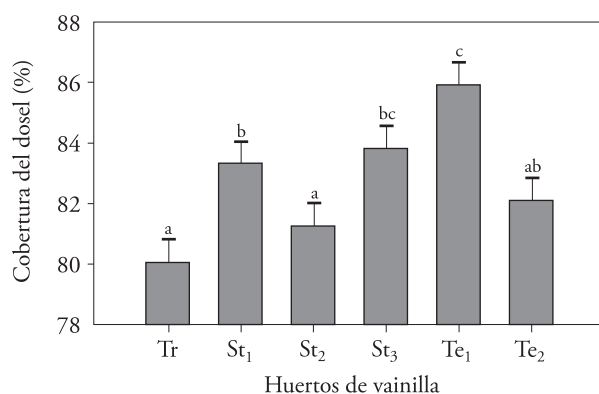


Figura 3. Cobertura del dosel promedio en los huertos donde se evaluó la aplicación de riego localizado. Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 3. Average canopy cover in orchards where the application of located irrigation was evaluated. Different letters indicate significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$).

semi-technical orchards had the highest retention of fruits in all treatments (Figure 2). Apparently, the addition of water and the management in those orchards allowed better results. Although a significant change did not occur in fruit retention, it is important to note the contrast to a production estimate of 0.44 t ha^{-1} of vanilla in the semitechnical plots studied, with 0.22 t ha^{-1} registered in México (Toussaint-Samat, 2002). This suggests that despite not achieving the retention of fruits expected, it was sufficient to increase it to twice the average of the national production.

The average of canopy cover in orchards varied throughout the study between 80-90 % and there were significant differences between them ($F = 7, p \leq 0.0001$; Figure 3). The orchard Tr showed low canopy cover compared to plots St₁, Te₁ and St₃, but was not different from St₂ and Te₂. The latter had an average canopy cover similar to the St₁ and St₃. However, in the Te₁ the highest canopy cover of shade (86 %) was recorded. These contrasts between plots can be part of the effect of sites on the differential retention of fruits recorded. In particular, the opening of canopy is important in the management of the fields of vanilla crops to reduce moisture and prevent the presence of plant diseases (*e.g.*, *Fusarium batatis* var. *vanillae*, *Colospora vanillae*, among others; Castro-Bobadilla, 2008). The large canopy cover recorded in the Te₁ orchard may be related to the extraordinary loss of fruits during the study period. However, a wide open canopy in the dry period may have contributed to the difference in the retention of registered fruit, because although the percentage of coverage of orchards did not differ among months ($F = 32, p > 0.05$), there were differences in the interaction of orchard \times month ($F = 12, p \leq 0.0001$).

The environmental variables recorded monthly: moisture and soil pH, temperature and relative humidity, and precipitation did not provide effect of association with fruit retention (Spearman (r_s) $p > 0.05$). This suggests that fruit retention may be associated with other variables (*e.g.*, soil characteristics), or the daily variation of these same factors.

The evaluated low-cost irrigation system did not show a benefit in fruit retention. This suggests that as a technique of low-cost water supplement may not be necessary to maintain a reasonable and

características del suelo), o la variación diaria de estos mismos factores.

El sistema de riego de bajo costo evaluado no mostró un beneficio en la retención de frutos. Esto sugiere que como técnica de suplemento de agua de bajo costo puede no ser necesaria para mantener una producción razonable y comparable, en cualquiera de los sistemas de manejo y cultivo de vainilla en la zona de estudio. No se puede considerar como una planta plenamente domesticada, sino que sólo se ha seleccionado una cierta cantidad de individuos (genotipos) para el cultivo (Schlüter *et al.*, 2007), y esto puede influir en la cantidad de frutos a producir, tamaño y vigor, debido a la información genética. Aunque en muchos otros sitios existen productores de vainilla (*v. gr.*, Guerrero, Puebla, Oaxaca, Quintana Roo), la forma de implementación de las parcelas se basa en genotipos reconocidos como productivos (semejante a como ocurre en la zona de Papantla). Por tanto, es conveniente explorar la posible aplicación de sistemas de riego localizados de bajo costo como el experimentado en el presente estudio.

CONCLUSIONES

Los requerimientos de agua adicional en el cultivo de vainilla para aumentar producción de frutos, aparentemente son mínimos. La adición de agua a las plantas de vainilla por medio del sistema de riego localizado probado, contribuye ligeramente en la retención de frutos, y ésta no se relacionó con las variables microambientales registradas, aunque la apertura del dosel puede ser determinante. Sin embargo, como en los huertos con manejo semitecnificado se registró la mayor retención de frutos, se sugiere que la combinación del riego localizado por goteo y este tipo de manejo de cultivo puede resultar en una mayor producción de vainilla en la zona, y probablemente menos variable.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los dueños de las parcelas por permitirnos realizar el estudio. A E. Boege, L. Sánchez, C. Álvarez la revisión a versiones previas. Los comentarios y sugerencias del editor asociado de la Revista Agrociencia y dos revisores anónimos mejoraron el manuscrito. El estudio fue apoyado por la Delegación Regional Golfo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

comparable production in any of the management systems and cultivation of vanilla in the study area. Vanilla cannot be considered as a fully domesticated plant, but only a determined number of individuals has been selected (genotypes) for cultivation (Schlüter *et al.*, 2007), and this may influence the amount of fruits to produce, size and vigor, as result of genetic information. Although in many other places there are vanilla producers (*e.g.*, Guerrero, Puebla, Oaxaca, Quintana Roo), the mode of implementation of the plots is based on genotypes recognized as productive ones (similar to what happens in the Papantla area). Therefore, it is convenient to explore the possible application of low-cost located irrigation systems as the experimented in this study.

CONCLUSIONS

The additional water requirements in the cultivation of vanilla to increase fruit production, apparently, are minimal. The addition of water to vanilla plants through the located irrigation system tested, contributes slightly to the fruit retention, and it was not associated with the micro-environmental variables recorded, although the canopy opening can be determinant. However, as in the orchards with semi-technical management the highest fruit retention was recorded, it is suggested that the combination of localized irrigation by drip and this type of crop management can result in a higher vanilla production in the area, and probably less variable.

—End of the English version—



(SIGOLFO-CONACyT No. 19980906001) y el INECOL (20030-10144).

LITERATURA CITADA

- Ackerman, J. D. 1989. Limitations to sexual reproduction in *Encyclia Kruggi* (Orchidaceae) Syst. Bot. 14: 101-109.
- Bory, S. M. Grisoni, M.-F. Duval, and P. Besse. 2008. Biodiversity and preservation of vanilla: present state of knowledge. Genet. Resour. Crop Ev. 55: 551-571.
- Calvo, R. N. 1990. Four-year growth and reproduction of *Cyclopogon cranichoides* (Orchidaceae) in South Florida. Am. J. Bot. 77(6): 736-741.

- Castro-Bobadilla, G. 2008. Evaluación y producción de vainilla en la zona de Papantla, Veracruz, México. Tesis de Doctorado. Secretaría de Posgrado, Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México. 93 p.
- Castro-Bobadilla, G., and J. G. García-Franco. 2007. Vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) crop systems used in the Totonacapan area of Veracruz, México: Biological and productivity evaluation. *J. Food. Agr. Environ.* 5: 136-139.
- Cole, F. R., and D. H. Firmance. 1984. The floral ecology of *Orchis spectabilis* L. (Orchidaceae). *Ohio J. Sci.* 82: 700-710.
- CONAGUA. 2008. Programa Nacional Hídrico 2007-2012. Edición 2008. SEMARNAT, México, D. F. 163 p.
- Conover, W. J., and R. M. Iman. 1981. Rank transformation as a bridge between parametric and nonparametric statistics. *The Am. Statistician* 35: 124-129.
- Correll, D. S. 1953. Vanilla - Its botany, history, cultivation and economic import. *Econ. Bot.* 7: 291-358.
- Dressler, L. R. 1993. Phylogeny and Classification of the Orchid Family. Dioscorides Press, Portland, Oregon, USA. 314 p.
- Felker, P., and S. G. Lee. 1992. Influence of water/heat stress on flowering and fruiting of mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*). *J. Arid Environ.* 23: 309-319.
- Fischer, R. A., and N. C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 29: 277-317.
- García Petillo, M., L. Puppo, G. Romero, y G. Baccino. 2003. Respuesta al riego de duraznero, manzano y peral en montes comerciales. *Agrociencia* 7(2): 49-61.
- Gobierno del Estado de Veracruz. 2008. Cuarto Informe de Gobierno. Anexo Estadístico. Editora de Gobierno del Estado de Veracruz Ignacio de la Llave. Emiliano Zapata, Veracruz. 352 p. (http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=213,4417594&_dad=portal&_schema=PORTAL) (Consultado: agosto, 2009).
- Hirshfield, M. F., and D. W. Tinkle. 1975. Natural selection and the evolution of reproductive effort. *Proc. Nat. Acad. Sci., USA* 72: 2227-2231.
- INEGI. 2007. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. <http://www.inegi.org.mx/>. (Consultado: agosto, 2009).
- Korthou, H., and R. Verpoorte 2007. Vainilla. *In: Berger, R. G.* (ed). *Flavours and Fragrances-Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*. Springer. pp: 204-217.
- Lubinsky, P., S. Bory, J. Hernández H., S.-C. Kim, and A. Gómez-Pompa. 2008. Origins and dispersal of cultivated vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. [Orchidaceae]). *Econ. Bot.* 62(2): 127-138.
- Méndez-Natera J. R., L. Lara, y J. A. Gil-Marín. 2007. Efecto del riego por goteo en el crecimiento inicial de tres cultivares de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) *Idesia, Arica* 25(2): 7-15.
- Pereira, L. S. 2007. Drought impacts in agriculture: Water conservation and water saving practices and management. *In: Rossi, G., T. Vega, and B. Bonaccorso* (eds). *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*. Springer. pp: 349-383.
- Primack, R. B., and P. Hall. 1990. Costs of reproduction in the pink lady's slipper orchid: A four-year experimental study. *Am. Nat.* 136(5): 638-656.
- Relf, D., A. McDaniel, and R. Morse. 2005. Tomatoes, Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech, <http://www.ext.vt.edu/pubs/envirohort/426-418/426-418.html>. (Consultado: julio, 2005).
- Rico-Gray, V., and L. B. Thien. 1987. Some aspects of the reproductive biology of *Schomburkia tibicinis* Batem. (Orchidaceae) in Yucatán, México. *Brenesia* 28: 13-24.
- Robertson, J. L., and R. Wyatt. 1990. Reproductive biology of the yellow-fringed orchid *Platanthera ciliaris*. *Am. J. Bot.* 77: 388-398.
- Rodríguez-Robles, J. A., E. J. Meléndez, and J. D. Ackerman. 1992. Effects of display size, flowering phenology and nectar availability on effective visitation frequency in *Comparettia falcata* (Orchidaceae). *Am. J. Bot.* 79: 1009-1017.
- Santos, H., A. L., E. Palacios Vélez, A. Exebio G., y L. E. Chalita T. 2000. Metodología para evaluar la distribución de costos e ingresos relacionados con el servicio de riego. *Agrociencia* 34(5): 639-649.
- Schlüter, P. M., M. A. Soto-Arenas, and S. A. Harris. 2007. Genetic variation in *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). *Econ. Bot.* 61(4): 328-336.
- Taiz, L., and E. Zeiger. 2006. *Plant Physiology*. Fourth Edition. Sinauer Associates, Inc., New York, USA. 705 p.
- Toussaint-Samat, M. 2002. La vainilla en México, una tradición con un alto potencial. *Claridades Agropecuarias* 101: 3-26.
- Zar, J. H. 1996. *Biostatistical Analysis*. Third Edition. Prentice Hall. New Jersey, USA. 662 p.