



HUMEDAD RELATIVA Y RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DE FRUTO DE *Vanilla planifolia* †

[RELATIVE HUMIDITY AND PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION INFLUENCE THE *Vanilla planifolia* FRUIT YIELD]

G. Andrade-Andrade¹, A. Delgado-Alvarado^{1*}, B.E. Herrera-Cabrera¹, A. Bustamante-González¹, R.M. Soto-Hernández² and C. Guízar-González³

¹Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla No. 205, Santiago Momoxpan, Municipio San Pedro Cholula, Estado de Puebla, C.P. 72760 Puebla, México. E-mail: glandrade@hotmail.com, adah@colpos.mx, behc@colpos.mx, angelb@colpos.mx.

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, C.P. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Email: msoto@colpos.mx.

³CONACYT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Subsede Zapopan. Camino Arenero 1227, El Bajío C.P. 45019, Zapopan, Jalisco, México. Email: cguizar@ciatej.mx.

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Fruit yield in vanilla cultivation depends on climatic and genetic factors and management practices; however, studies on the influence of the environment on management systems for vanilla production are still limited.

Objective: To evaluate the yield of vanilla fruit in three different management systems in correlation with their climate parameters. **Methodology:** 16 fruit yield components were evaluated in at least 10 repetitions; in addition, temperature, relative humidity, photosynthetically active radiation, and accumulated precipitation were recorded during the production cycle. The analysis of variance, Tukey's test ($\alpha=0.05$), and canonical correlation between yield components and climate parameters were performed under a randomized complete block design. **Results:** Vanilla fruit yield was influenced by the management system. The intensive system in shade mesh with an inert tutor (Barriles) had the highest yield of three evaluated sites, however, its fruits had lower weight and size than the system in acahual (20 Soles) and shade mesh with a living tutor (Solteros de Juan Rosas). The acahual system had a middle yield and the largest and heaviest fruits. The cultivation in shade mesh with living tutors in Solteros had low yield, attributable to high relative humidity and low photosynthetically active radiation during the cultivation cycle due to excessive shading of living tutors that as a whole could cause low floral induction and environmental stress promoting the development of diseases and premature fruit drop. Nevertheless, the fruits harvested in Solteros had physical characteristics similar to those of acahual (20 Soles). The effect of climate parameters was mainly reflected in inflorescences and fruit density.

Implications: The incorporation of more study sites and cultivation cycles are necessary to extend the research, however, the information provided may be useful for producers to modify some of their management practices.

Conclusions: The yield and size of vanilla fruits is influenced by the management system, since the highest yield occurred in the intensive system of shade mesh with inert tutors. The presence of diseases is a factor that could influence low fruit yield. Relative humidity and photosynthetically active radiation are the climate parameters with the greatest influence on fruit yield, particularly on fruits and inflorescences density in vanilla cultivation.

Keywords: yield components; climate parameters; management systems; *Vanilla planifolia*.

RESUMEN

Antecedentes: El rendimiento de fruto en el cultivo de vainilla depende de factores climáticos, genéticos y prácticas de manejo; sin embargo, los estudios acerca de la influencia del ambiente en los sistemas de manejo sobre la producción de vainilla aún son limitados. **Objetivo:** Evaluar el rendimiento de fruto de vainilla en tres sistemas de manejo diferentes en correlación con sus parámetros de clima. **Materiales y métodos:** Se evaluaron 16 componentes de rendimiento de fruto con al menos 10 repeticiones y se registraron temperatura, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa y precipitación acumulada durante el ciclo de producción. El análisis de varianza, prueba de

† Submitted January 10, 2022 – Accepted December 3, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4177>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

Tukey ($\alpha=0.05$) y correlación canónica entre componentes de rendimiento y parámetros de clima se realizaron bajo un diseño de bloques completos al azar. **Resultados:** El rendimiento de fruto de vainilla estuvo influenciado por el sistema de manejo. El sistema intensivo en malla sombra con tutor inerte (Barriles) tuvo el rendimiento más alto de los tres sitios evaluados, sin embargo, sus frutos tuvieron peso y tamaño menores que los sistemas en acahual (20 Soles) y malla sombra con tutor vivo (Solteros de Juan Rosas). El sistema en acahual tuvo un rendimiento intermedio y los frutos más grandes y de peso mayor. El cultivo en malla sombra con tutor vivo de Solteros tuvo rendimiento bajo, atribuible a la humedad relativa alta y radiación fotosintéticamente activa baja durante el ciclo de cultivo a causa de un sombreado excesivo de los tutores vivos que en conjunto pudieron causar inducción floral baja y estrés ambiental que promovió el desarrollo de enfermedades y caída prematura de fruto. Sin embargo, los frutos cosechados en Solteros tuvieron características físicas similares a los del acahual (20 Soles). El efecto de los parámetros de clima se reflejó principalmente en la densidad de inflorescencias y frutos. **Implicaciones:** La incorporación de más sitios de estudio y ciclos de cultivo son necesarios para ampliar la investigación, sin embargo, la información proporcionada puede ser de utilidad para que los productores modifiquen algunas de sus prácticas de manejo. **Conclusiones:** El rendimiento y tamaño de los frutos de vainilla es influenciado por el sistema de manejo, ya que el rendimiento mayor se dio en el sistema intensivo de malla sombra con tutores inertes. La presencia de enfermedades es un factor que puede influir en el rendimiento bajo de fruto. La humedad relativa y la radiación fotosintéticamente activa son los parámetros de clima con mayor influencia en el rendimiento de fruto, particularmente sobre la densidad de frutos e inflorescencias en el cultivo de vainilla.

Palabras clave: componentes de rendimiento; parámetros de clima; sistema de manejo; *Vanilla planifolia*.

INTRODUCCIÓN

El género *Vanilla* está integrado por cerca de 110 especies y tiene una amplia distribución geográfica (Soto-Arenas y Dressler 2010). Las tres especies de este género que producen frutos aromáticos son *V. pompona* Schiede, *V. tahitensis* y *V. planifolia* (Korthou y Verpoorte 2007). Esta última especie es la de mayor importancia económica, ecológica y sociocultural debido a que su cultivo promueve una importante cantidad de mano de obra, puede ser incorporada dentro de un sistema agrícola y además representa un legado biológico de las culturas mesoamericanas (Bory *et al.* 2007; Lubinsky *et al.* 2008; Bouétard *et al.* 2010).

La vainilla se desarrolla en regiones tropicales y requiere condiciones agroecológicas particulares para que el cultivo prospere, sin embargo, en condiciones naturales está expuesta a condiciones de estrés ambiental, lo que le permite tener un comportamiento con plasticidad adaptativa (Zotz y Andrade 2001; Haslam *et al.* 2003). Esto ha permitido su establecimiento como sistema de cultivo con diferentes prácticas de manejo, que esencialmente se han desarrollado de manera empírica (Hernández-Hernández y Lubinsky 2011). Al respecto, Barrera-Rodríguez *et al.* (2009) y Hernández-Hernández (2011) mencionan que la vainilla en México se cultiva bajo tres sistemas de producción: acahual, intensivo con tutores vivos e intensivo en malla sombra, en cada uno de los cuales se realizan prácticas de manejo particulares.

La producción de frutos de vainilla depende de la genética, nutrición del cultivo, enfermedades y respuesta a fitohormonas (Ghazoul y Satake 2009; Martínez-García *et al.* 2012). Sin embargo, el estrés ambiental es uno de los factores con mayor influencia

ya que se asocia con la caída prematura de fruto, lo que reduce el rendimiento del cultivo (Ghazoul y Satake 2009; Castro-Bobadilla *et al.* 2011). Rocha-Flores *et al.* (2018) mencionan que el rendimiento de vainilla depende de la asociación entre la especie y los recursos que brinda el ecosistema. Además de estos factores las prácticas de manejo son determinantes, ya que pueden generar una condición de temperatura o incidencia de luz extremas que llegan a afectar negativamente el desarrollo vegetativo o la retención del fruto (Flores-Jiménez *et al.*, 2017). Las prácticas de manejo en el cultivo de vainilla también son un factor de gran relevancia, porque pueden influir en la capacidad adaptativa de la planta y en el potencial productivo de fruto (Hernández-Hernández 2014).

Los estudios realizados por Damirón-Velázquez (2004), De la Cruz-Medina *et al.* (2009) y López-Méndez y Mata-García (2006) hacen mención del rendimiento estimado en el cultivo de vainilla, aunque pocos trabajos como el de Priya *et al.* (2002) y Rocha-Flores *et al.* (2018) han estimado los componentes de rendimiento. Sin embargo, la información acerca de los componentes de rendimiento de fruto en vainilla y su relación con el ambiente o el sistema de manejo es aún insuficiente. Por lo que resulta relevante aportar información que contribuya a generar estrategias encaminadas a incrementar el rendimiento, así como las ganancias para los productores de vainilla. Con base en la ley del rendimiento de los cultivos donde se establece la relación entre la productividad de un cultivo con las condiciones del suelo, clima y manejo (Jenny 1994), el objetivo de esta investigación fue evaluar los componentes de rendimiento de fruto de vainilla en tres sistemas de cultivo, así como su correlación con los parámetros de clima registrados en cada cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección y ubicación de sitios de estudio

El rendimiento de fruto y parámetros de clima se evaluaron en tres sitios de estudio con diferente sistema de manejo en la Región Totonacapan, Veracruz, México. Los sitios se seleccionaron con características contrastantes en su establecimiento: el sitio de Barriles establecido en malla sombra con tutores inertes de bambú (*Phyllostachys aurea*), 20 Soles establecido en el sistema de acahual (tradicional) con tutores de chaca (*Bursera simaruba*), pata de vaca (*Bauhinia forticata*) y laurel (*Laurus nobilis*); y Solteros de Juan Rosas en sistema malla sombra con tutores vivos de pichoco cimarrón (*Erythrina herbacea* L.). La ubicación geográfica de los sitios de estudio se tomó en campo con un GPS Garmin® Montana 650. Las características y ubicación geográfica de los sitios de estudio se muestran en el Cuadro 1.

Evaluación de componentes de rendimiento

Las flores de vainilla se marcaron en el momento de la polinización durante el período de floración (marzo-abril de 2019), en el periodo de cosecha (noviembre) se marcó aleatoriamente un metro lineal de plantas en cada hilera (repetición) dentro de cada sitio, con un total de 12 repeticiones para Barriles, 10 para 20 Soles y 16 para Solteros de Juan Rosas. La distribución de plantas fue diferente en cada sistema de manejo, la distancia promedio entre hileras y entre plantas fue de 2.1 m y 1.1 m en Barriles, 1.7 m y 1 m en 20 Soles, 1.3 m y 1 m en Solteros de Juan Rosas. Los frutos se cosecharon 30 semanas después de la polinización. El peso y número total de frutos cosechados en cada hilera se registraron, posteriormente se tomó una muestra de 20 a 30 frutos por repetición de los cuales se registró el peso individual en una balanza digital (ADAM Modelo HCB3001) con una precisión de dos decimales. También se midieron en centímetros la longitud, el ancho y el grosor en la región media del fruto con un vernier digital (Mitotuyo®). Las variables evaluadas en planta fueron altura de planta, número de guías y número de inflorescencias. A partir de estas variables se propuso una ecuación para estimar el rendimiento de fruto (Ecuación 1). Con base en los estudios realizados por Priya *et al.* (2002) y Rocha-Flores *et al.*

(2018) se propusieron 16 componentes de rendimiento (Cuadro 2), de los cuales siete variables se evaluaron en planta y nueve variables en fruto.

$$\text{Rendimiento de fruto} = \left(\frac{\text{Guías}}{\text{m}^2}\right) \left(\frac{\text{Inflorescencias}}{\text{Guía}}\right) \left(\frac{\text{Frutos}}{\text{Inflorescencia}}\right) (\text{kg de fruto})$$

Registro de parámetros de clima

La temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa se registraron durante todo el ciclo de cultivo con un datalogger (Marca Hobo® U12-012) y diferenciados en dos periodos: floración-amarre de fruto (marzo-mayo) y desarrollo de fruto (junio-noviembre). Teniendo en cuenta que el desarrollo de la vainilla se ve influenciado por la cantidad de luz que recibe (Puthur 2005), se consideró el periodo de luz del día durante el ciclo de cultivo. Cada dato estadístico utilizado para el análisis se obtuvo a partir del promedio de 5 días a las 6:00, 10:00, 14:00 y 18:00 h por ser los rangos horarios en los que se observaron variaciones importantes a lo largo del día, lo que fue equivalente a seis datos por mes. Los datos de precipitación acumulada promedio mensual se obtuvieron en las bases de datos de CONAGUA (Comisión Nacional de Agua, 2019).

Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en un análisis de varianza y prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) con el paquete estadístico SAS (Versión 9.0) aplicado a los componentes de rendimiento y los parámetros de clima en un diseño de bloques completos al azar, donde las fuentes de variación fueron el sistema de manejo y el rango horario. El análisis multivariado se realizó mediante correlaciones canónicas entre 16 variables dependientes (componentes de rendimiento) y tres variables independientes (parámetros de clima) con el paquete estadístico XLSTAT Versión 2021. A fin de cuantificar la asociación entre ambos grupos de variables y obtener significancia estadística, se realizó la discriminación secuencial de variables dependientes con un grado de asociación alto entre sí. El número de repeticiones por variable para cada sitio de estudio fueron 12 repeticiones para Barriles, 11 para 20 Soles y 15 para Solteros de Juan Rosas.

Cuadro 1. Características y ubicación geográfica de tres sitios de estudio.

Municipio	Sitio de estudio	Sistema de manejo	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)
Papantla	Rancho 20 Soles	Acahual	-97.31	20.43	176
	Solteros de Juan Rosas	Malla sombra con tutores vivos	-97.20	20.34	203
Gutiérrez Zamora	Barriles	Malla sombra con tutores inertes	-91.14	20.46	29

msnm: Metros sobre el nivel del mar.

Cuadro 2. Variables medidas en planta y en fruto para evaluar el rendimiento y sus componentes en *Vanilla planifolia*.

Clave	Variable	Unidad de medida	Clave	Variable	Unidad de medida
	Planta			Fruto	
AP	Altura de planta	m	PPFru	Peso promedio por fruto	g
Guías/m ²	Guías/m ²	Adimensional	Fru/kg	Frutos/Kilogramo	Adimensional
Fru/m ²	Frutos/m ²	Adimensional	Fru/Guía	Frutos/Guía	Adimensional
Mac/m ²	Macetas/m ²	Adimensional	LongFru	Longitud del fruto	cm
kgFru/m ²	Kilogramo de fruto/m ²	kg/m ²	AncFru	Ancho del fruto	cm
Fru/Inf	Frutos/Inflorescencia	Adimensional	GrosFru	Grosor del fruto	cm
Inf/Guía	Inflorescencias/Guía	Adimensional	AFru	Área del fruto (Longitud x Ancho del fruto)	cm ²
			VolFru	Volumen del fruto	cm ³
			Rend	Rendimiento	kg/m ²

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de rendimiento y sus componentes en los sistemas de manejo

El Cuadro 3 muestra el análisis de varianza de los 16 componentes de rendimiento evaluados en planta y fruto. Las variables analizadas tuvieron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.0001$) entre los sistemas de manejo evaluados. Las variables analizadas en planta como densidad de guías/m² (26.30 %), frutos/m² (33.32 %) e inflorescencias/guía (21.91 %) presentaron los coeficientes de variación más altos. Estos resultados coinciden con lo reportado por Rocha-Flores *et al.* (2018), donde las variables evaluadas en planta tuvieron la variación mayor. Los coeficientes de variación altos se atribuyen principalmente a las diferencias en el establecimiento de los sistemas de manejo en relación a la densidad de plantas, lo que también se refleja en la densidad de frutos e inflorescencias.

Respecto a los componentes de rendimiento, los resultados indicaron que los tres sitios fueron estadísticamente diferentes para la mayoría de variables evaluadas (Cuadro 4). El sistema de cultivo en malla sombra con tutores inertes (Barriles) destacó por tener la densidad mayor de guías con un promedio de 25 guías/m², la proporción mayor de frutos e inflorescencias por metro cuadrado (145 Fru/m² y 16 Inf/m², respectivamente), así como la relación más alta de frutos por inflorescencia. El sistema en acahual (20 Soles) se caracterizó por tener las plantas con altura menor (1.64 m) y densidad de plantas más baja (1 Guías/m²); sin embargo, fue el sistema que tuvo la densidad mayor de inflorescencias por guía (7 Inf/guía). El sistema en malla sombra con tutores vivos de Solteros de Juan Rosas presentó las plantas de porte mayor (3.16 m) y una densidad intermedia de plantas (11 Guías/m²), pero fue el sistema que registró la

cantidad menor de frutos e inflorescencias (4 Fru/Inf y 1 Inf/Guía, respectivamente).

Acerca de la densidad de plantas, Barrera-Rodríguez *et al.* (2011) señalan que un promedio de cuatro esquejes por tutor facilita las prácticas de manejo y una adecuada ventilación, aunque también resaltan que uno de los principales problemas asociados a la densidad alta de plantas es que la floración ocurre en las áreas más expuestas a la luz y en menor grado en la parte interna dando una producción menor de fruto a pesar de la cantidad de plantas. Mata *et al.* (2007) mencionan que una planta puede tener de 10 a 15 inflorescencias, sin embargo, no todos alcanzan su desarrollo a frutos y la tasa de éxito dependerá en gran medida del sistema de manejo. Los sistemas tradicionales (acahual) suelen tener un amarre de fruto cercano a 32 %, en tanto que los sistemas tecnificados logran aproximadamente 85 % (Díez-Gómez 2015). Los resultados de esta investigación muestran que hay diferencias principalmente en la densidad de flores e inflorescencias, rendimiento y tamaño de fruto entre sistemas de manejo (Cuadro 4). Con base en lo anterior, se esperaba que los sistemas en malla sombra tuvieran una densidad mayor de inflorescencias y frutos. Aunque esto se observó en Barriles, no fue el caso de Solteros ya que además de tener una densidad menor de plantas el cultivo presentó daños importantes por enfermedades que redujeron de manera significativa su rendimiento potencial. A diferencia del sistema en 20 Soles, donde a pesar de la densidad baja de plantas tuvo una cantidad alta de inflorescencias.

Dado que los frutos verdes de vainilla se comercializan por peso, las características de peso y tamaño de fruto son aspectos de gran importancia en el rendimiento. Hernández-Hernández (2011) menciona que el sistema en acahual, al ser un sistema tradicional, suele tener rendimientos bajos mientras que los sistemas intensivos como el de malla sombra tienen una producción mayor de fruto. Dicha información difiere

con la de este estudio y resalta la importancia de las prácticas de manejo, ya que aunque se registraron datos estadísticamente diferentes en cuanto al tamaño (longitud, ancho y grosor) y peso de fruto en relación con los sistemas de manejo, los frutos del sistema en acahual (20 Soles) donde sólo establece una guía/m² tuvieron un peso (13.09 g) y tamaño (19.29 cm) mayores, pero también presentó la proporción mayor de frutos por guía (51 Fru/Guía) con un rendimiento de casi un kilogramo/m² (Cuadro 2). En cambio, en el sistema en malla sombra con tutores vivos (Solteros de Juan Rosas) que tuvo un promedio de 11 Guías/m², se registraron en promedio frutos con peso (11.23 g) y longitud (16.22 cm) menores respecto al sistema en acahual.

Aunque para los sistemas en acahual (20 Soles) y malla sombra con tutores vivos (Solteros de Juan Rosas) se requirieron una cantidad similar de frutos por kilogramo, el sistema en Solteros presentó el rendimiento más bajo con una producción promedio de 0.5 kg/m². Mientras que el sistema intensivo en malla sombra con tutores inertes (Barriles) tuvo la densidad mayor de Guías/m² y el rendimiento mayor por área (1.06 kg/m²), pero los frutos presentaron pesos y tamaños menores respecto a los otros dos sistemas de cultivo evaluados (acaahual y malla sombra con tutor vivo); los cuales al tener una cantidad menor de guías permitieron un mejor desarrollo de los frutos en cuanto a sus características físicas. Al respecto, Carrillo-González y González-Chávez (2018) señalan que esto puede atribuirse a que la sobrecarga de guías genera una competencia y extracción de nutrientes mayor. Los resultados de este estudio claramente evidencian que el sistema de manejo influyó en la calidad física y

rendimiento de fruto y además coincide con la afirmación de Barrera-Rodríguez *et al.* (2011), donde menciona que, aunque la densidad de plantas es importante no determina la producción de fruto. El manejo fitosanitario es otro factor que influye en el rendimiento de fruto, lo cual se observó en Solteros de Juan Rosas donde enfermedades como la roya afectaron de manera importante la producción al propiciar la caída de fruto.

Evaluación de parámetros de clima

Los parámetros de clima evaluados en el periodo de floración y amarre de fruto tuvieron diferencias estadísticas significativas entre rangos horarios. Las diferencias estadísticas a nivel de sitio se encontraron en humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa. Esta tendencia se observó también en el periodo de desarrollo de fruto, sin embargo, las diferencias estadísticas tuvieron mayor significancia (Cuadro 5). Lo que muestra que hubo una variación mayor en los parámetros evaluados en este periodo.

Los parámetros evaluados en el periodo de floración y amarre de fruto no tuvieron diferencias estadísticas entre sitios en la temperatura registrada. El sistema en acahual (20 Soles) tuvo humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa y precipitación acumulada menores a las registradas en los sistemas establecidos en malla sombra (Barriles y Solteros de Juan Rosas). El periodo de desarrollo de fruto no tuvo diferencias estadísticas en la temperatura y hubo una variación menor entre sitios, pero se encontró que los sistemas en malla sombra presentaron la radiación fotosintéticamente activa más baja (Cuadro 6). A partir

Cuadro 3. Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de los componentes de rendimiento en tres sistemas de manejo de la región Totonacapan, México.

Variable	Media	Coeficiente de variación (%)	Cuadrados medios	
			Sistema de manejo	Error
Altura de planta	2.47	9.72	8.01***	0.058
Guías/m ²	12.88	26.30	1555.66***	11.479
Frutos/m ²	74.59	33.32	46899.24***	617.655
Inflorescencias/m ²	11.30	19.57	234.05***	4.893
kg de fruto/m ²	0.68	19.20	2.25***	0.017
Frutos/Inflorescencia	5.92	17.52	92.95***	1.076
Inflorescencias/Guía	2.46	21.91	167.03***	0.290
Peso promedio por fruto (g)	10.65	14.87	81.09***	2.510
Frutos/kg	99.89	15.86	9026.09***	251.010
Frutos/Guía	15.83	21.58	8195.36***	11.678
Longitud del fruto (cm)	16.59	5.44	56.02***	0.814
Ancho del fruto (cm)	1.09	6.42	0.14***	0.005
Grosor del fruto (cm)	0.88	6.07	0.09***	0.003
Área del fruto (Longitud x Ancho del fruto) (cm ²)	18.20	9.97	158.73***	3.290
Volumen del fruto (cm ³)	16.26	15.48	242.79***	6.332
Rendimiento de fruto (kg/m ²)	0.70	16.72	204877.77***	13580.005

***P < 0.0001, **P < 0.001; CV: Coeficiente de variación

Cuadro 4. Promedio de componentes de rendimiento de fruto de *Vanilla planifolia* en tres sistemas de manejo en la región Totonacapan, México.

Sitio	Altura de planta (m)	Guías/m ²	Fru/m ²	Variables evaluadas en planta				Inf/Guía	
				Inf/m ²	kgFru/m ²	Fru/Inf	Inf/Guía		
Barriles	2.17b	25a	145a	16a	1.07a	9a	1b		
20 Soles	1.64c	1c	67b	10b	0.86b	7b	7a		
Solteros de Juan Rosas	3.16a	11b	29c	8b	0.31c	4c	1b		
DMS	0.24	3.33	24.41	2.17	0.13	1.02	0.53		
Sitio	PPFru (g)	Fru/kg	Fru/Guía	Variables evaluadas en fruto					
				LongFru (cm)	AncFru (cm)	GrosFru (cm)	AFru (cm ²)	VolFru (cm ³)	Rend (kg/m ²)
Barriles	7.81c	131a	6b	14.84c	0.97b	0.78b	14.35c	11.21c	1.06a
20 Soles	13.09a	78b	51a	19.29a	1.13a	0.91a	21.87a	20.15a	0.88b
Solteros de Juan Rosas	11.23b	91b	3b	16.22b	1.56a	0.93a	18.75b	17.54b	0.34c
DMS	1.56	15.56	3.36	0.89	0.07	0.05	1.78	2.47	114.45

Fru/m²: Frutos/m²; Inf/m²: Inflorescencias/m²; kgFru/m²: Kilogramos de fruto/m²; Frutos/Inf: Frutos/Inflorescencia; Inf/Guía: Inflorescencias/Guía; PPFru: Peso promedio por fruto; Fru/kg: Frutos/Kilogramo; Fru/Guía: Frutos/Guía; LongFru: Longitud del fruto; AncFru: Ancho del fruto; GrosFru: Grosor del fruto; AFru: Área del fruto (Longitud de fruto x Ancho de fruto); VolFru: Volumen del fruto; Rend: Rendimiento. Letras diferentes por columna indican diferencia estadística, Tukey ($\alpha=0.05$).

de estos resultados se define que la radiación fotosintéticamente activa que reciben las plantas es más influenciada por el sistema de manejo.

Correlación canónica entre parámetros de clima y componentes de rendimiento de fruto

La correlación canónica entre los componentes de rendimiento de fruto de vainilla y los parámetros de clima registrados en el sistema de malla sombra con tutores inertes (Barriles) se muestra en el Cuadro 7, la representación gráfica de dicha correlación se observa en la Figura 1. El análisis mostró altas correlaciones en los periodos de floración y amarre de fruto (0.95, $r^2=0.90$), y desarrollo de fruto (0.99, $r^2=0.99$). El

periodo de floración y amarre de fruto tuvo correlación baja entre la radiación fotosintéticamente activa de las 18:00 h (RFA_18H) y el número de inflorescencias/m² (-0.2696), así como menor asociación con frutos/m² (-0.0574) y kilogramos de fruto/m² (0.0809). La humedad relativa (HR_18H) mostró asociación baja con el peso promedio por fruto (0.0940), mientras que la temperatura (Temp_14H) se correlacionó de manera inversa con el volumen del fruto (-0.0123) (Figura 1A). El periodo de desarrollo de fruto mostró asociación baja entre la temperatura y radiación fotosintéticamente activa a las 14:00 h (RFA_14H) con inflorescencias/m² (-0.1526), peso promedio (-0.0789) y ancho de fruto (0.0801). La humedad relativa (HR_18H y HR_14H) se correlacionó con la proporción

Cuadro 5. Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de los parámetros de clima registrados en tres sistemas de manejo de la región Totonacapan, México.

Parámetro de clima	Media	Coeficiente de variación (%)	Cuadrados medios		
			Sitio	Hora	Error
Floración y amarre de fruto					
Temperatura (°C)	28.38	11.78	28.13ns	253.90***	11.17
Humedad relativa (%)	69.30	11.23	195.61*	3249.64***	60.56
Radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	14.09	24.52	677.59***	2664.58***	11.94
Desarrollo de fruto					
Temperatura (°C)	28.72	10.50	25.60ns	493.45***	9.09
Humedad relativa (%)	77.98	8.51	1436.40***	5146.73***	44.06
Radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	13.91	23.59	1934.21***	8142.17***	10.76

***P < 0.0001, **P < 0.001, ns: No significativa

Cuadro 6. Promedio de parámetros de clima registrados en tres sitios de la región Totonacapan, México durante el ciclo de cultivo 2019.

Sitio	Parámetro de clima			
	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Precipitación acumulada (mm)
Floración y amarre de fruto				
Barriles	28.21a	68.71ab	17.52a	15.07a
20 Soles	27.91a	68.15b	11.25c	12.55b
Solteros de Juan Rosas	29.33a	71.84a	13.11b	15.07a
Desarrollo de fruto				
Barriles	29.21a	77.23b	11.02b	87.78a
20 Soles	28.21a	73.99c	18.10a	60.41b
Solteros de Juan Rosas	29.42a	80.59a	12.52b	60.41b

Letras diferentes por columna indican diferencia estadística, Tukey ($\alpha=0.05$).

de inflorescencias/guía (0.1096), mientras que la radiación fotosintéticamente activa (RFA_18H) tuvo correlación alta con frutos/inflorescencia (0.9492) (Figura 1B).

La asociación entre parámetros de clima y componentes de rendimiento del sistema en acahual (20 Soles) se muestran en el Cuadro 8 y Figura 2. Los resultados mostraron correlaciones altas en los periodos de floración y amarre de fruto (0.97, $r^2=0.95$), y más baja en el desarrollo de fruto (0.93, $r^2=0.86$). La correlación canónica para el periodo de floración-amarre de fruto señaló que la temperatura y radiación fotosintéticamente activa de las 14:00 h (RFA_14H) tuvo baja asociación con el peso promedio por fruto (-0.0474). La radiación fotosintéticamente activa a las 18:00 h y la humedad relativa tuvieron alta asociación

con frutos/ m^2 (0.4968), sin embargo, la correlación mayor se encontró entre la temperatura con frutos/inflorescencia (-0.2052), longitud (-0.3733) y volumen del fruto (-0.2107) (Figura 2A). Los resultados del periodo de desarrollo de fruto señalaron que la principal asociación se dio entre la radiación fotosintéticamente activa (RFA_14H) con frutos/inflorescencia (-0.5260), área del fruto (-0.1859) y ancho del fruto (-0.1840), así como una correlación baja con el peso promedio por fruto (-0.0113). La radiación fotosintéticamente activa de las 18:00 h tuvo una asociación alta y negativa con frutos/inflorescencia (-0.5260), también se observó asociación baja de la humedad relativa y temperatura con el área (-0.1859) y ancho del fruto (-0.1840) (Figura 2B).

Cuadro 7. Correlación canónica entre parámetros de clima y variables de rendimiento de fruto de *Vanilla planifolia* del sitio Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Correlación de variables ambientales con variables canónicas de rendimiento de fruto			
	Floración y amarre de fruto		Desarrollo de fruto
Temp_14H	-0.1001	Temp_14H	-0.2956
HR_18H	0.5376	HR_14H	0.4822
RFA_14H	0.5125	HR_18H	0.2663
RFA_18H	0.7225	RFA_14H	-0.6141
		RFA_18H	0.7175
Correlación de rendimiento de fruto con variables canónicas de variables ambientales			
	Floración y amarre de fruto		Desarrollo de fruto
Inf/ m^2	-0.2696	Inf/ m^2	-0.1526
Fru/ m^2	-0.0574	Fru/Inf	0.9492
kgFru/ m^2	0.0809	Inf/Guía	0.1096
PPFru	0.0940	PPFru	-0.0789
VolFru	-0.0123	AncFru	0.0801
r^2	0.90	r^2	0.99
Correlación canónica	0.95	Correlación canónica	0.99

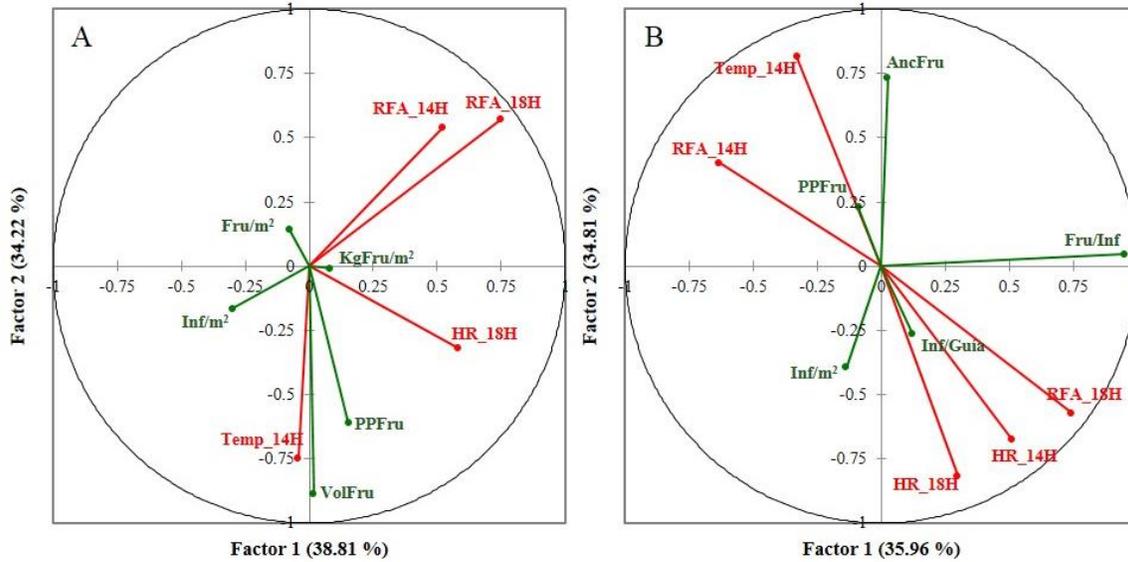


Figura 1. Representación gráfica de los coeficientes de correlación estructural de los dos primeros factores en la interacción de variables ambientales y de rendimiento de fruto de *Vanilla planifolia* en el periodo de floración-amarre de fruto (A), y en el desarrollo de fruto (B) del ciclo de producción en Barriles, Gutiérrez Zamora, Ver. Fru/m²: Frutos/m²; kgFru/m²: Kilogramos de fruto/m²; PPFru: Peso promedio por fruto; AncFru: Ancho de fruto; Fru/Inf: Frutos/Inflorescencia; Inf/Guía: Inflorescencias/Guía; VolFru: Volumen de fruto; Inf/m²: Inflorescencias/m². Temp_14H: Temperatura a las 14:00 h; HR_14H y HR_18H: Humedad relativa a las 14:00 y 18:00 h; RFA_14H y RFA_18H: Radiación fotosintéticamente activa a las 14:00 y 18:00 h.

Las correlaciones canónicas para el sistema en malla sombra con tutores vivos (Solteros de Juan Rosas) se muestran en el Cuadro 9. La representación de estas correlaciones se presenta en la Figura 3. La correlación para el periodo de floración-amarre de fruto (0.86, r²=73), y desarrollo de fruto (0.79, r²=0.63) fueron menores a las encontradas en los dos sitios mencionados anteriormente. Los resultados para el periodo de floración-amarre de fruto indicaron que la radiación fotosintéticamente activa a las 14:00 h (RFA_14H) tuvo correlación alta con el peso promedio

(0.5023) y volumen del fruto (0.3128), pero asociación baja con el ancho de fruto (0.0883). La humedad relativa y la temperatura tuvieron asociación alta con inflorescencias/m² (0.4901), y correlación más baja con guías/m² (0.2736). La proporción de frutos/inflorescencia (-0.5486) tuvo correlación alta con la radiación fotosintéticamente activa de las 18:00 h (RFA_18H) (Figura 3A). En el periodo de desarrollo de fruto la temperatura tuvo correlación alta con frutos/guía (0.6979), inflorescencias/m² (0.4035), inflorescencias/guía (0.6979) y frutos/m² (0.6419), mientras

Cuadro 8. Correlación canónica entre parámetros de clima y variables de rendimiento de frutos de *Vanilla planifolia* del sitio 20 Soles, Papantla, Veracruz.

Correlación de parámetros de clima con variables canónicas de rendimiento de fruto			
Floración y amarre de fruto		Desarrollo de fruto	
Temp_18H	-0.2434	Temp_18H	0.1212
HR_18H	0.1663	HR_10H	0.3695
RFA_14H	-0.0118	RFA_14H	-0.2487
RFA_18H	0.1464	RFA_18H	0.7995
Correlación de rendimiento de fruto con variables canónicas de parámetros de clima			
Floración y amarre de fruto		Desarrollo de fruto	
Fru/Inf	-0.2052	Fru/Inf	-0.5260
Fru/m ²	0.4968	PPFru	-0.0113
PPFru	-0.0474	AncFru	-0.1840
LongFru	-0.3733	AFru	-0.1859
VolFru	-0.2107		
r ²	0.95	r ²	0.86
Correlación canónica	0.97	Correlación canónica	0.93

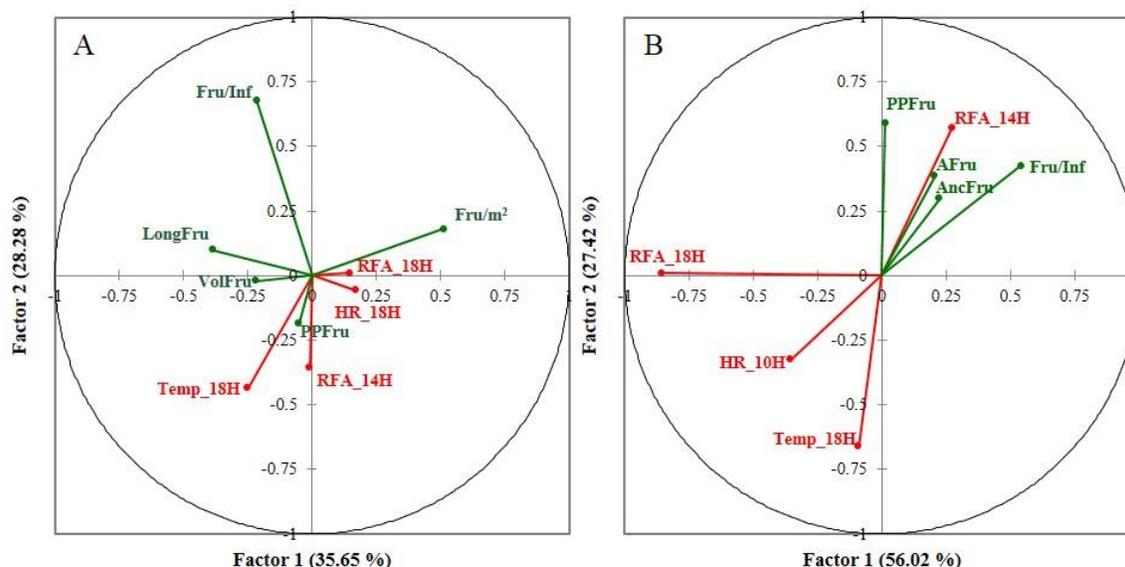


Figura 2. Representación gráfica de los coeficientes de correlación estructural de los dos primeros factores en la interacción de variables ambientales y de rendimiento de fruto de *Vanilla planifolia* en el periodo de floración y amarre de fruto (A), y en el desarrollo de fruto (B) del ciclo de producción en 20 Soles, Papantla, Ver. VolFru: Volumen de fruto; LongFru: Longitud del fruto; Fru/Inf: Frutos/Inflorescencia; Fru/m²: Frutos/m²; PPFru: Peso promedio por fruto; AFru: Área del fruto; AncFru: Ancho del fruto; Temp_18H: Temperatura a las 18:00 h; HR_10H y HR_18H: Humedad relativa a las 10:00 y 18:00 h; RFA_14 y RFA_18H: Radiación fotosintéticamente activa a las 14:00 y 18:00 h.

que mostró una asociación menor con la proporción frutos/inflorescencias (0.3430). Sin embargo, la radiación fotosintéticamente activa (RFA_14H y RFA_18H) y humedad relativa tuvieron una correlación alta y negativa con frutos/m² (0.6419) e inflorescencias/guía (0.4917) (Figura 3B).

La vainilla se desarrolla en condiciones de temperatura media anual que oscila entre 24 °C y 26 °C (Soto-Arenas y Solano-Gómez 2007), con un máximo de 32 °C (Anandaraj *et al.* 2005). Valores por debajo de 20

°C puede inhibir el crecimiento, desarrollo e intensidad de floración (Ranadive 2005). Mientras que temperaturas superiores a 32°C ocasiona la caída prematura del fruto durante su desarrollo (Hernández-Hernández 2007) o inhibe la inducción floral por el estrés oxidativo (Ali *et al.* 2005); aunque también puede favorecer el desarrollo vegetativo de la planta (Runkle 2019), como se observó en Solteros de Juan Rosas donde la temperatura mostró influencia en la densidad de guías/m². Por su parte, Robinson (2002) señala que la temperatura no sólo puede influir en el

Cuadro 9. Correlación canónica entre parámetros de clima y variables de rendimiento de frutos de *Vanilla planifolia* del sitio Solteros de Juan Rosas, Papantla, Veracruz.

Correlación de parámetros de clima con variables canónicas de rendimiento de fruto			
Floración y amarre de fruto		Desarrollo de fruto	
Temp_18H	0.5256	Temp_18H	0.4310
HR_18H	0.4849	HR_18H	-0.2624
RFA_14H	0.5161	RFA_14H	-0.2204
RFA_18H	-0.3758	RFA_18H	-0.0793
Correlación de rendimiento de fruto con variables canónicas de parámetros de clima			
Floración y amarre de fruto		Desarrollo de fruto	
Guías/m ²	0.2736	Inf/Guía	0.6979
Inf/m ²	0.4901	Inf/m ²	0.4035
Fru/Inf	-0.5486	Fru/Inf	0.3430
PPFru	0.5023	Fru/m ²	0.6419
AncFru	0.0883	Fru/Guía	0.4917
VolFru	0.3128		
r ²	0.73	r ²	0.63
Correlación canónica	0.86	Correlación canónica	0.79

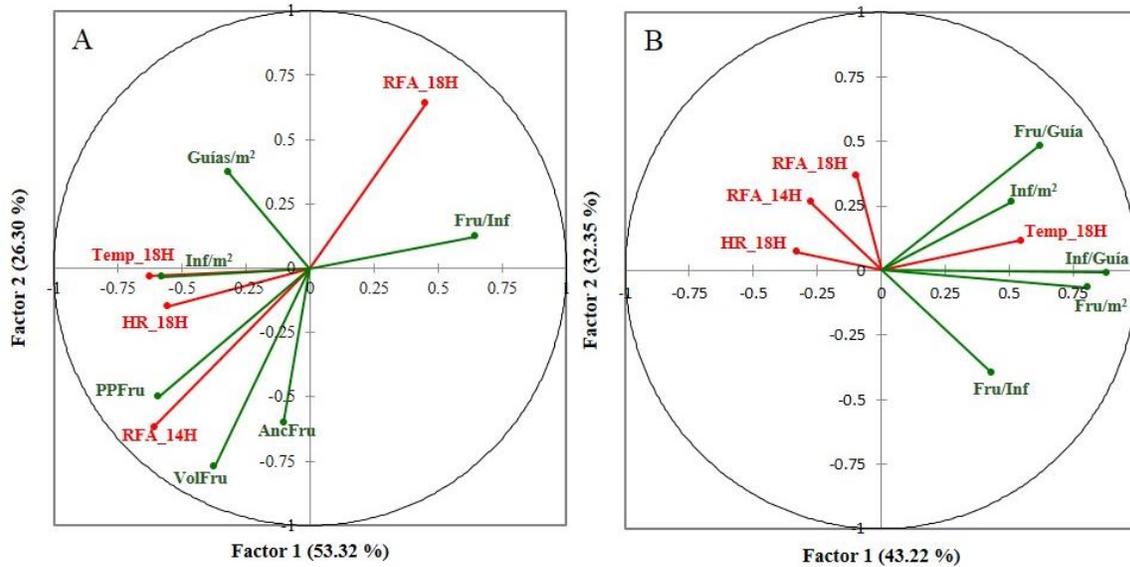


Figura 3. Representación gráfica de los coeficientes de correlación estructural de los dos primeros factores en la interacción de variables ambientales y de rendimiento de fruto de *Vanilla planifolia* durante el periodo de floración y amarre de fruto (A), y en el desarrollo de fruto (B) del ciclo de producción en Solteros de Juan Rosas, Papantla, Ver. Fru/Inf: Frutos/Inflorescencia; AncFru: Ancho de fruto; VolFru: Volumen de fruto; PPFru: Peso promedio por fruto; Inf/m²: Inflorescencias/m²; Fru/Guía: Frutos/Guía; Inf/Guía: Inflorescencias/Guía; Fru/m²: Frutos/m²; Temp_18H: Temperatura a las 18:00 h; HR_18H: Humedad relativa a las 18:00 h; RFA_14H RFA_18H: Radiación fotosintéticamente activa a las 14:00 y 18:00 h.

desarrollo de brotes florales, sino también en la antesis. A pesar de que la temperatura promedio registrada en los sistemas de cultivo no fueron superiores a los 32 °C, los sistemas en malla sombra mostraron las temperaturas más altas. La influencia de este parámetro de clima sobre los componentes de rendimiento se pudo apreciar en el análisis de correlaciones canónicas, en el cual se observó que la temperatura tuvo efecto principalmente en la densidad de inflorescencias. Este efecto se observó particularmente en Solteros de Juan Rosas donde se registraron las temperaturas promedio más altas en los periodos de floración-amarre y desarrollo de fruto (29.33 y 29.42 °C, respectivamente) y presentó la cantidad menor de frutos e inflorescencias, y en consecuencia tuvo el rendimiento más bajo.

La humedad relativa es otro parámetro de clima importante en el cultivo de vainilla. Gangadhara *et al.* (2010) señalan que la humedad relativa en el cultivo debe ser aproximada al 70 %, aunque condiciones de humedad entre 74 % y 80 % y temperaturas de 23 a 28 °C favorecen el crecimiento de hongos como *Fusarium oxysporum*, condición que puede propiciar la caída del fruto. El efecto de la humedad relativa alta se refleja en un desbalance hormonal que genera la disminución de auxinas, giberelinas y citocininas, así como el incremento del etileno y ácido abscísico que ocasionan la caída de los frutos (Khandaker *et al.* 2016), y

también favorece la incidencia de enfermedades causadas por hongos (Bhai *et al.* 2008). El análisis de correlaciones canónicas indicó que la humedad relativa tuvo influencia principalmente en la relación de frutos/inflorescencia en los sistemas de malla sombra, particularmente en Solteros de Juan Rosas establecido con tutores vivos, donde se registró la humedad relativa más alta y presentó enfermedades como la roya, así como la caída prematura de fruto causado por la condición de estrés. Las condiciones de establecimiento en el sistema de acahual permiten una mayor ventilación y regulación de la temperatura y humedad relativa en el cultivo (Hernández-Hernández y Lubinsky 2010), lo que contribuye a evitar una condición desfavorable o de estrés en el cultivo de vainilla.

Los resultados en este estudio indicaron que la radiación fotosintéticamente activa tuvo influencia sobre la densidad de inflorescencias y frutos/m², que se relaciona directamente con el rendimiento. La radiación fotosintéticamente activa se considera el segundo parámetro de clima de mayor importancia en el cultivo de la vainilla después de la temperatura (Lee *et al.* 2019). Además de promover el desarrollo foliar de la planta y la acumulación de biomasa y área foliar, es necesaria para la inducción floral (Díez *et al.* 2017; Runkle 2019), una intensidad de luz baja puede retardar la floración (Kataoka *et al.* 2004), mientras

que valores altos en este parámetro pueden generar daño a los tejidos. Puthur (2005) señala que el éxito del cultivo de vainilla depende en gran medida del manejo de luz, al ser la variable ambiental con mayor influencia en la fotosíntesis, el desarrollo de la planta y el rendimiento. El crecimiento vegetativo se favorece en condiciones de intensidad de luz baja, pero se requiere una intensidad mayor de luz para promover la diferenciación floral, lo que se relaciona con la producción potencial en el cultivo (Kitai y Lahjie 2016). Esto se pudo comprobar en el estudio realizado por Puthur (2005), en donde la intensidad de luz más alta favoreció un desarrollo de inflorescencias mayor, así como la proporción de flores por inflorescencia y frutos por planta. También señala que hay una productividad mayor en el cultivo bajo condiciones de luz de 600-800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mientras que el desarrollo vegetativo se promueve en condiciones de 300-600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y se presenta un efecto negativo en la productividad bajo una intensidad de luz superior a 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Puthur 2005).

Los sitios de 20 Soles (acahual) y Solteros de Juan Rosas (malla sombra con tutores vivos) tuvieron radiación fotosintéticamente activa menor durante el periodo de floración-amarre de fruto (11.25 y 13.11 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente), a pesar de ser sistemas de manejo diferentes la condición de intensidad de luz menor se puede asociar al hecho de que ambos sistemas tienen tutores vivos. Sin embargo, es importante destacar que en el sistema de producción de Solteros de Juan Rosas tiene una capa de malla sombra sobre el cultivo, adicional a la sombra que proporcionan los tutores, lo que logró reducir la luz recibida por el cultivo. Esta condición de luminosidad reducida sugiere que pudo propiciar la inducción floral baja, que aunado a la humedad relativa alta favoreció la presencia de enfermedades y la caída de fruto, lo que afectó el rendimiento del cultivo.

CONCLUSIONES

El rendimiento de fruto en vainilla es influenciado por el sistema de manejo, ya que en cada sistema de cultivo se realizan prácticas diferentes de acuerdo con el objetivo o interés de cada productor. El sistema intensivo en malla sombra con tutor inerte, como el de Barriles, tuvo el rendimiento mayor de fruto, sin embargo, el sistema en acahual de 20 Soles tuvo los frutos de mejor calidad en términos de peso y tamaño de fruto. Aunque los parámetros de clima tuvieron un efecto distinto en cada sistema de manejo, la humedad relativa y la radiación fotosintéticamente activa fueron los principales parámetros asociados con el rendimiento de fruto de vainilla, particularmente en la densidad de frutos e inflorescencias. Estos parámetros se relacionan con el manejo de luminosidad (luz-sombra) en el cultivo, lo que induce microclimas particulares dependiendo del sistema de manejo, que

pueden generar situaciones de estrés ambiental y tienen una influencia negativa en el rendimiento del cultivo.

Agradecimientos

Agradecemos a los productores de la región Totonacapan por la confianza y disposición para realizar este estudio. Así mismo, agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca proporcionada durante el estudio de doctorado, del cual se desprende la presente investigación.

Funding. This research did not receive external funding.

Conflict of interest. Nothing to declare.

Compliance with ethical standards. The research did not require ethical approval.

Data availability. Data is available with the corresponding autor, upon reasonable request (adah@colpos.mx).

REFERENCIAS

- Ali, M.B, Hahn, E.J. and Paek, K.Y., 2005. Effect of temperature on oxidative stress defense systems, lipid peroxidation and lipoxygenase activity in *Phaleanopsis*. *Plant Physiology Biochemistry*, 43(3), pp. 213-223. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2005.01.007>.
- Barrera-Rodríguez, A.I., Herrera-Cabrera, B.E., Jaramillo-Villanueva, J.L., Escobedo-Garrido, J.S. and Bustamante-González, A., 2009. Caracterización de los sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* A.) bajo naranjo y en malla sombra en el Totonacapan. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(2), pp. 199-212. <https://www.revista.ccca.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/152/56>.
- Barrera-Rodríguez, A.I., Jaramillo-Villanueva, J.L., Escobedo-Garrido, J.S. and Herrera-Cabrera, B.E., 2011. Rentabilidad y competitividad de los sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* J.) en la región del Totonacapan, México. *Agrociencia*, 45(5), pp. 625-638. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/905/905>.
- Bhai, S. and Dhanesh, J., 2008. Occurrence of fungal diseases in vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) in Kerala. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 17(2), pp. 140-148.

- <https://updatepublishing.com/journal/index.php/josac/article/view/4907/4406>.
- Bory, S., Grisoni, M., Duval, M.F. and Besse, P., 2007. Biodiversity and preservation of vanilla: present state of knowledge. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(4), pp. 551-571. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9260-3>.
- Bouétard, A., Lefeuvre, P., Gigant, R., Bory, S., Pignal, M., Besse, P. and Grisoni, M., 2010. Evidence of transoceanic dispersion of the genus *Vanilla* based on plastid DNA phylogenetic analysis. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 55, pp. 621-630. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.01.021>.
- Carrillo-González, R. and González-Chávez, M.C.A., 2018. Relación capacidad-intensidad de potasio en suelos no fertilizados cultivados con vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). *Agroproductividad*, 11(3), pp. 37-44. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/214/157>.
- Castro-Bobadilla, G., Martínez, A.J., Martínez, M.L. and García-Franco, J.G., 2011. Aplicación de riego localizado para aumentar la retención de frutos de *Vanilla planifolia* en el Totonacapan Veracruz. *Agrociencia*, 45(3), pp. 281-291. <https://agrocienacolpos.org/index.php/agrociencia/article/view/877/877>.
- Damirón-Velázquez, R., 2004. La vainilla y su cultivo. Dirección General de Agricultura y Fitosanitaria del Estado de Veracruz, pp. 50.
- De la Cruz-Medina, J., Rodríguez-Jiménez, G.C. and García, H.S., 2009. Vanilla post-harvest operations. INPhO-Post-harvest Compendium. Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 51.
- Díez, M.C., Moreno, F. and Gantiva, E., 2017. Effects of light intensity on the morphology and CAM photosynthesis of *Vanilla planifolia* Andrews. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 70(1), pp. 8023-8033. <https://doi.org/10.15446/rfna.v70n1.61736>.
- Díez-Gómez, M.C., Osorio, N.W. and Moreno, F., 2015. Effect of dose and type of fertilizer on flowering and fruiting of vanilla plants. *Journal of Plant Nutrition*, 39(9), pp. 1297-1310. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1098673>.
- Flores-Jiménez, A., Reyes-López, D., Jiménez-García, D., Romero-Arenas, O., Rivera-Tapia, J.A., Huerta-Lara, M. and Pérez-Silva, A., 2017. Diversidad de *Vanilla* spp. (Orchidaceae) y sus perfiles bioclimáticos en México. *Revista de Biología Tropical*, 65(3), pp. 975-987. <http://doi.org/10.15517/rbt.v65i3.29438>.
- Gangadhara, N.B., Nagaraja, R. and Basavaraja, M.K., 2010. Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Vanillae*, the casual agent of stem rot of vanilla in vitro. In: Reddy, M.S., Sarma, Y.R., Reddy, K.R.K., Desai, S., Rao, W.K., Podile, A.R., Sayyed, R.Z., Reddy, B.C., and Kloepper (Eds.). *Plant Growth Promotion by Rhizobacteria for Sustainable Agriculture*. Scientific Publishers, India, pp. 408-410.
- Ghazoul, J. and Satake, A., 2009. Nonviable seed set enhances plant fitness the sacrificial sibling hypothesis. *Ecology*, 90(2), pp. 369-377. <https://doi.org/10.1890/07-1436.1>.
- Haslam, R., Borland, A., Maxwell, K. and Griffiths, H., 2003. Physiological responses of the CAM epiphyte *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae) to variations in light and water supply. *Journal of Plant Physiology*, 160(6), pp. 627-634. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00970>.
- Hernández-Hernández, J., 2011. Vanilla diseases-yellowing and shedding of young fruits. In: D. Havkin-Frenkel and F. C. Belanger, eds. *Handbook of Vanilla Science and Technology*. United Kingdom, Wiley-Blackwell, USA, pp. 32-33.
- Hernández-Hernández, J. and Lubinsky, P., 2011. Cultivation systems. In: Odoux, E., Grisoni, M. (Eds.). *Vanilla. Medicinal and Aromatic Plants – Industrial Profiles*, CRC Press Taylor & Francis Group, United States of America, pp.75-95.
- Hernández-Hernández, J., 2014. Técnicas implementadas para el cultivo de vainilla en México. En: Araya-Fernández, C., Cordero-Solórzano, R., Paniagua-Vásquez, A., y Azofofeifa-Bolaños, J.B. (Eds.) I Seminario Internacional de Vainilla, pp. 81-92.
- Jenny, H., 1994. Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. Dover Publication. Inc. pp. 191.
- Kataoka, K., Sumitomo, K., Fudano, T. and Kawase, K., 2004. Changes in sugar content of

- Phalaenopsis leaves before floral transition. *Scientia Horticulturae*, 102(1), pp. 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.12.006>
- Khandaker, M.M., Idris, N.S., Ismail, S.Z., Majrashi, A., Alebedi, A. and Mar, N., 2016. Causes and prevention of fruit drop of *Syzygium samarangense* (Wax apple). *Advances in Environment Biology*, 10(11), pp. 112-123. <http://www.aensiweb.net/AENSIWEB/aeb/aeb/2016/November/112-123.pdf>.
- Kitai, K. and Lahjie, A.M., 2016. Sunlight environment for *Vanilla planifolia* cultivated by agroforestry system in east Kalimantan. *International Journal of Agroforestry and Silviculture*, 3(10), pp. 232-245. <https://www.internationalscholarsjournals.com/articles/sunlight-environment-for-vanilla-planifolia-cultivated-by-agroforestry-system-in-east-kalimantan.pdf>.
- Korthou, H. and Verpoorte, R., 2007. Vanilla: In: *Flavours and Fragrances*. Berger. R.G. (Ed.) Springer, Berlin, pp. 203-217.
- Lee, H.B., Lee, J.H., An, S.K., Park, J.H. and Kim, K.S., 2019. Growth characteristics and flowering initiation of Phalaenopsis Queen Beer 'Mantefon' as affected by the daily light integral. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 60(5), pp. 637-645. <https://doi.org/10.1007/s13580-019-00156-2>.
- López-Méndez, S. and Mata-García, B., 2006. La vainilla en el Totonacapan, símbolo de la sustentabilidad. Extensión al Campo. Publicación Trimestral de la Universidad Autónoma de Chapingo, pp. 21-28.
- Lubinsky, P., Bory, S., Hernández-Hernández, J., Seung-Chul, K. and Gómez-Pompa, A., 2008. Origins and dispersal of cultivated vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. (Orchidaceae)). *Economic Botany*, 62(2), pp. 127-138. <https://doi.org/10.1007/s12231-008-9014-y>.
- Martínez-García, P.J., Dicenta, F. and Ortega, E., 2012. Anomalous embryo sac development and fruit abortion caused by inbreeding depression in almond (*Prunus dulcis*). *Scientia Horticulturae*, 13(6), pp. 80-84. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.10.001>
- Mata, G.B., Silecio, L.M., González, M.V.C., Almaguer, V.G., Espinosa, R.E., Karla, V., Ortiz, B. and Fajardo, F.M., 2007. Agricultura con sabor cítrico y aroma de vainilla en la región del Totonacapan. Universidad Autónoma Chapingo, pp. 199-250.
- Priya, P.M., Kuruvilla, K.M. and Madhusoodanan, K.J., 2002. Yield prediction in vanilla (*Vanilla planifolia*). In: Sreedharan, K., Kumar, P.K.V. and Basavaraj, M.C. (Eds.). *Proceeding of Procrosym XV*. Central Coffee Research Institute, Chickmagalore, Karnataka, India, pp. 414-415.
- Puthur, J., 2005. Influence of light intensity on growth and crop productivity of *Vanilla planifolia* Andr. *General and Applied Plant Physiology*, 31(3-4), pp. 215-224. http://www.bio21.bas.bg/ipp/gapbfiles/v-31/05_3-4_215-224-s.pdf.
- Rocha-Flores, R.G., Herrera-Cabrera, B.E., Velasco-Velasco, J., Salazar-Rojas, V.M., Delgado-Alvarado, A. and Mendoza-Castillo, M.C., 2018. Determinación preliminar de componentes de rendimiento para el cultivo de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) en la región Totonacapan, México. *Agroproductividad*, 11(3), pp. 9-14. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/210/153>.
- Robinson, K.A., 2002. Effects of temperature on the flower development rate and morphology of *Phalaenopsis* orchid. M.S thesis. Michigan State University, USA.
- Runkle, E.S., 2019. Environmental control of the flowering process of *Phalaenopsis* orchids. *Acta Horticulturae*, 1262(2), pp. 7-12. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1262.2>.
- Soto-Arenas, M.A. and Dressler, R.L., 2010. A revision of the mexican and central american species of *Vanilla plumier* ex Miller with a characterization of their ITS region of the nuclear ribosomal DNA. *Lankesteriana International Journal of Orchidology*, 9(3), pp. 285-354. <https://doi.org/10.15517/lank.v0i0.12065>.
- Zotz, G. and Andrade, J.L., 2002. La ecología y la fisiología de las epífitas y las hemiepífitas. En: Kattan, G.H., and Guariguata, M.R. (Ed.). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Libro Universitario Regional, San José, Costa Rica, pp. 273-298.