



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**ANÁLISIS DEL EFECTO DEL AGUA DE COCO EN LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS FRUTOS Y
DEL BENEFICIO-COSTO DE LA PRODUCCIÓN DE *Vanilla
planifolia***

Zayra Guadalupe Pérez Orozco

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

Puebla, Puebla

2021

La presente tesis, titulada: **Análisis del efecto del agua de coco en las características físico-químicas de los frutos y del beneficio-costo de la producción de *Vanilla planifolia***, realizada por el alumno: **Zayra Guadalupe Pérez Orozco**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA: 
DRA. ADRIANA DELGADO ALVARADO

ASESOR: 
DR. BRAULIO EDGAR HERRERA CABRERA

ASESORA: 
DRA. MA. DE LOURDES ARÉVALO GALARZA

ASESOR: 
DR. JOSÉ LUIS JARAMILLO VILLANUEVA

Puebla, Puebla, México, 23 de julio del 2021

**ANÁLISIS DEL EFECTO DEL AGUA DE COCO EN LAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS FRUTOS Y DEL BENEFICIO-COSTO DE LA
PRODUCCIÓN DE *Vanilla planifolia***

Zayra Guadalupe Pérez Orozco, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

Vanilla planifolia es una especie que se utiliza mundialmente por el sabor y aroma de sus frutos, sin embargo, aún es limitada la información de sus requerimientos tanto nutricionales como ambientales para que el cultivo desarrolle su máximo potencial de producción. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de agua de coco (*Cocos nucifera* L.) y de un bioestimulador de crecimiento en el rendimiento y las características físico-químicas de los frutos de vainilla, y también analizar el beneficio-costos de su producción. El rendimiento y las características físicas y químicas de los frutos se evaluaron con la aplicación a los frutos de cuatro tratamientos (T1-control: 100% agua potable; T2: 50% agua de coco; T3: 100 % agua de coco y T4: solución de Megafol (Valagro[®]), a partir de la floración, por un periodo de tres meses cada dos semanas en dos sitios dentro del mismo vainillal. El beneficio-costos se obtuvo mediante un cuestionario de 100 preguntas que se aplicó a 10 productores de vainilla (4 con cultivo en malla-sombra; 3 con cultivo en naranjo y 3 en acahual). Los resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$ o $p \leq 0.01$) en los componentes de rendimiento, y en las características físicas y químicas de los frutos de vainilla por la aspersión de agua de coco entre sitios y entre tratamientos. La radiación fotosintéticamente activa y la humedad relativa se relacionaron de manera diferente con variables de componentes de rendimiento en función del sitio del vainillal. Los frutos asperjados con el T2 y T3 presentaron pesos significativamente mayores en frutos verdes (8.23 y 8.61 g) y en beneficiados (1.62 y 1.43 g) respecto a los del T1 y T4. El uso del agua de coco como una alternativa orgánica para fertilización en la vainilla, puede reducir la aplicación de sustancias químicas y disminuir los costos de producción, entre otras ventajas. Además, aplicada al inicio de la etapa de floración, tiene un efecto significativo en las dimensiones y peso de los frutos y puede ser una alternativa orgánica para la nutrición e incremento del rendimiento en vainilla.

Palabras clave: *Cocos nucifera* L., ambiente, fertilización, rendimiento, vainilla.

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF COCONUT WATER ON THE PHYSICAL-
CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE FRUITS AND THE BENEFIT-COST
OF THE PRODUCTION OF *Vanilla planifolia***

Zayra Guadalupe Pérez Orozco, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

Vanilla planifolia is a species that is used worldwide for the flavor and aroma of its fruits, however, the information on its nutritional and environmental requirements is still limited for the crop to develop its maximum production potential. The study aimed to evaluate the effect of the application of coconut water (*Cocos nucifera* L.) and of a growth biostimulator on the yield and the physico-chemical characteristics of the vanilla fruits, and also to analyze the benefit-cost of their production. The yield and the physical and chemical characteristics of the fruits were evaluated with the application to the fruits of four treatments (T1-control: 100% tap water; T2: 50% coconut water; T3: 100% coconut water and T4: Megafol (Valagro®) solution, from flowering for a period of three months every two weeks in two sites within the same vanilla plantation. The benefit-cost was obtained through a 100-question questionnaire that was applied to 10 vanilla producers (4 with shade-mesh cultivation; 3 with orange cultivation and 3 with acahual). The results showed significant differences ($p \leq 0.05$ or $p \leq 0.01$) in the yield components, and in the physical and chemical characteristics of the vanilla fruits by the spraying of coconut water between sites and between treatments. Photosynthetically active radiation and relative humidity were related differently to yield component variables as a function of vanilla plantation site. The fruits sprinkled with T2 and T3 presented significantly higher weights in green fruits (8.23 and 8.61 g) and in cured fruits (1.62 and 1.43 g) compared to those of T1 and T4. Using coconut water as an organic alternative for fertilizing vanilla can reduce the application of chemicals and lower production costs, among other advantages. In addition, its application at the beginning of the flowering stage has a significant effect on the size and weight of the fruits and can be an organic alternative for nutrition and increase vanilla yield.

Keywords: *Cocos nucifera* L., environment, fertilization, yield, vanilla.

DEDICATORIAS

A mis padres Efraín Pérez Ramírez y Aurora Orozco García porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome todo su apoyo, confianza y consejos para hacer de mí una mejor persona, todo lo que soy es gracias a ellos. Gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, por impulsarme a ser alguien mejor, sobre todo por su amor; gracias a mi padre por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan, por el valor mostrado para salir adelante.

A mis hermanos Efraín y Nallely por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho, aunque no siempre esté ahí para decírselo.

A mi sobrina Elisa que es el mejor y más valioso regalo que Dios nos ha dado.

A mi esposo, Aldair, ¿Qué puedo decirte que no sepas ya? has estado en los momentos más felices y turbulentos de mi vida, en esta etapa estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían.

A mis amigas de laboratorio, Paula, Lupita, Cecy y Sarahí quienes sin esperar nada a cambio compartieron, sus alegrías, sus tristezas y conocimiento.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgarme una beca para realizar la maestría.

Al Colegio de Postgraduados Campus Puebla, por su apoyo financiero con el fideicomiso de Fondos para la investigación científica y desarrollo tecnológico del centro público de investigación y por permitirme realizar la maestría, así como hacer uso del equipo del laboratorio e instalaciones de la institución.

A la Dra. Adriana Delgado Alvarado, por la confianza que depositó en mí, su constante apoyo, sus indicaciones, y orientaciones indispensables en el desarrollo de este trabajo, pero también por ofrecerme un buen consejo y amistad en los momentos difíciles.

Al Dr. Braulio Edgar Herrera Cabrera, por haberme guiado en toda la parte estadística de este Proyecto, y también por su participación en los viajes a campo que se realizaron durante el estudio.

A la Dra. Ma. de Lourdes Arévalo Galarza por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.

Al Dr. José Luis Jaramillo Villanueva, por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.

A lo productores de *Vainilla planifolia* de la región del Totonacapan ya que, sin su invaluable trabajo en campo, el presente trabajo no se hubiera podido llevar a cabo.

Al Dr. Ramón Marcos Soto Hernández por permitirnos el uso de su equipo para la evaluación de reguladores vegetales presentes en el agua de coco y al Mtro. Rubén San Miguel Chávez por su disponibilidad para el asesoramiento en la ejecución de dicho experimento.

Al Dr. Rogelio Carrillo González, por su apoyo en la elaboración de los análisis de contenido de minerales en el agua de coco.

M.V.Z. César Emir Arellano Silva y su esposa M.C. Ma. de Lourdes García de Castro, quienes muy amablemente pusieron su vainillal a nuestra disposición para la aplicación de los experimentos realizados en este estudio, dándonos toda la confianza y hospitalidad que uno se pueda imaginar. También a los trabajadores encargados de los cuidados de dicho vainillal.

A mis amigas de laboratorio: Paula, Lupita, Cecy y Sarahí.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	2
1. Problema de investigación.....	2
2. Objetivos e hipótesis.....	3
3. Literatura citada.....	4
1 CAPÍTULO I. EFECTO DEL AGUA DE COCO EN EL RENDIMIENTO DE FRUTOS DE VAINILLA Y SU RELACION CON VARIABLES AMBIENTALES	7
RESUMEN.....	7
1.1 INTRODUCCIÓN	8
1.2 MATERIALES Y MÉTODOS	10
1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
1.4 CONCLUSIONES	34
1.5 LITERATURA CITADA.....	35
CAPÍTULO II. EFECTO DEL AGUA DE COCO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS FRUTOS DE VAINILLA (<i>Vanilla planifolia</i>)	40
RESUMEN.....	40
2. 1 INTRODUCCIÓN	41
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS	42
2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
2.4 CONCLUSIONES	85
2.5 LITERATURA CITADA.....	85
CAPÍTULO III. BENEFICIO-COSTO DEL USO DE AGUA DE COCO, COMO INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE VAINILLA EN LA REGIÓN DEL TONACAPAN, MÉXICO	92
RESUMEN.....	92
3.1 INTRODUCCIÓN	93
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	95
3.3 RESULTADOS.....	100
3.4 CONCLUSIONES	106
3.5 LITERATURA CITADA.....	106
ANEXOS	109
ANEXO 3.A CUESTIONARIO DE MANEJO DE CULTIVO DE VAINILLA (<i>Vanilla planifolia</i>).....	109

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1 Análisis de varianza para rendimiento y sus componentes de planta y fruto de <i>Vanilla planifolia</i> para los cuatro tratamientos del Sitio 1, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	17
Cuadro 1.2. Comparación de medias de componentes de rendimiento de planta y variables físicas de fruto de <i>Vanilla planifolia</i> por tratamiento del Sitio 1, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.	18
Cuadro 1.3. Análisis de varianza para rendimiento y sus componentes de planta y fruto de <i>Vanilla planifolia</i> para los cuatro tratamientos del Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	20
Cuadro 1.4. Comparación de medias de componentes de rendimiento de planta y variables físicas de fruto de <i>Vanilla planifolia</i> por tratamiento del Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.	21
Cuadro 1.5. Análisis de varianza para rendimiento y sus componentes de planta y fruto de <i>Vanilla planifolia</i> para los cuatro tratamientos del Sitio 1 y Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.	23
Cuadro 1.6. Promedio de variables de densidad de las plantas de vainilla evaluadas con cuatro tratamientos en dos sitios en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz. ..	24
Cuadro 1.7. Promedio de peso fresco y dimensiones de frutos de <i>Vanilla planifolia</i> evaluados con cuatro tratamientos en dos sitios en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	25
Cuadro 1.8. Correlaciones canónicas entre variables ambientales y variables de componentes de rendimiento de <i>Vanilla planifolia</i> en el Sitio 1 Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.	31
Cuadro 1.9. Correlaciones canónicas entre variables ambientales y variables de componentes de rendimiento de <i>Vanilla planifolia</i> en el Sitio 2 de la localidad de Paso de Barriles, Veracruz.	33
Cuadro 2.1 Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de materia seca, AST, zeatina y trans-zeatina en agua de coco (<i>Cocos nucifera</i> L.) fresca y liofilizada proveniente de la localidad Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	53
Cuadro 2.2. Promedios de materia seca, AST, zeatina, trans-zeatina y cinetina en agua de coco (<i>Cocos nucifera</i> L.) fresca y liofilizada proveniente de la localidad Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.	53
Cuadro 2.3 Contenido de minerales en agua de coco (<i>Cocos nucifera</i> L), en estado natural, proveniente de Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	54
Cuadro 2.4 Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de las características físicas y químicas de frutos verdes de <i>Vanilla planifolia</i> para los cuatro tratamientos del Sitio 1, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	56
Cuadro 2.5 Promedios de características físicas y químicas de frutos verdes de <i>Vanilla planifolia</i> por tratamiento del Sitio 1, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	58
Cuadro 2.6 Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de las características físicas y químicas de frutos verdes de <i>Vanilla planifolia</i> para los cuatro tratamientos del Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	60

Cuadro 2.7 Promedios de valores de las características físicas y químicas de frutos verdes de <i>Vanilla planifolia</i> por tratamiento del Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.	62
Cuadro 2.8 Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de las características físicas y químicas en frutos verdes de <i>Vanilla planifolia</i> para los cuatro tratamientos del Sitio 1 y Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.	64
Cuadro 2.9 Promedio de características físicas de frutos verdes de vainilla evaluadas con cuatro tratamientos en dos sitios en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz. ..	66
Cuadro 2.10 Promedio de variables químicas de frutos verdes de vainilla evaluadas con cuatro tratamientos en dos sitios en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz. ...	69
Cuadro 2.11. Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de las características físicas y químicas de frutos beneficiados de <i>Vanilla planifolia</i> para los cuatro tratamientos del Sitio 1, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.	72
Cuadro 2.12 Promedio de características físicas y químicas de frutos beneficiados de <i>Vanilla planifolia</i> por tratamiento del Sitio 1, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	73
Cuadro 2.13 Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de las características físicas y químicas de frutos beneficiados de <i>Vanilla planifolia</i> para los cuatro tratamientos del Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.	75
Cuadro 2.14 Promedio de características físicas y químicas de fruto beneficiado de <i>Vanilla planifolia</i> por tratamiento del Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	76
Cuadro 2.15 Promedio de características físicas y químicas en frutos beneficiados de <i>Vanilla planifolia</i> para los cuatro tratamientos del Sitio 1 y Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	78
Cuadro 2.16 Promedio de características físicas de frutos beneficiados de vainilla evaluadas con cuatro tratamientos en dos sitios en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	80
Cuadro 2.17 Promedio de variables químicas de frutos beneficiados de vainilla evaluadas con cuatro tratamientos en dos sitios en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.....	83
Cuadro 3.1 Costos fijos de los diferentes productores entrevistados en la región del Totonacapan en Veracruz.	101
Cuadro 3.2 Costos variables de los diferentes productores entrevistados en la región del Totonacapan en Veracruz.	103
Cuadro 3.3 Beneficio-costo y ganancia de los vainillales ubicados en la región del Totonacapan en el estado de Veracruz.	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación del mapa de estudio: Localidad de Paso de Barriles en el municipio de Gutiérrez Zamora, Veracruz (Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1) (INEGI 2009).....	10
Figura 1.2. Precipitación (mm) de los años 2018 y 2019 en el municipio de Papantla de Olarte, Veracruz de la Llave, México.....	11
Figura 1.3. Representación esquemática de la ubicación del Sitio 1 y Sitio 2 en el vainillal de estudio, y la ubicación de los tratamientos dentro del sitio, en la localidad de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.	12
Figura 1.4 Variables ambientales de temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa (RFA) detectados durante el periodo de floración (abril y mayo) y de desarrollo del fruto de vainilla (junio-octubre) a las 06:00 h, 10:00 h, 14:00 h y 18:00 h en el Sitio 1 en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz. El primer y tercer cuartil representa la mayor distribución de los valores, mientras que el segundo cuartil indica la mediana de los valores. Los brazos representan los valores mínimos y máximos y los puntos externos los datos atípicos.	27
Figura 1.5 Variables ambientales de temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa (RFA) detectados durante el periodo de floración (abril y mayo) y de desarrollo del fruto de vainilla (junio-octubre) a las 06:00 am, 10:00 am, 14:00 pm y 18:00 pm en el Sitio 2 en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz. El primer y tercer cuartil representa la mayor distribución de los valores, mientras que el segundo cuartil indica la mediana de los valores. Los brazos representan los valores mínimos y máximos y los puntos externos los datos atípicos.	29
Figura 1.6. Relación entre variables ambientales y variables de componentes de rendimiento de <i>Vanilla planifolia</i> en el Sitio 1 de la localidad de Paso de Barriles, Veracruz.	32
Figura 1.7. Relación entre variables ambientales y variables de componentes de rendimiento <i>Vanilla planifolia</i> en el Sitio 2 de la localidad de Paso de Barriles, Veracruz.	34
Figura 2.1. Representación esquemática de la ubicación del Sitio 1 y Sitio 2 en el vainillal de estudio, y la ubicación de los tratamientos dentro del sitio, en la localidad de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.	43
Figura 2.2 Representación gráfica de los parámetros de color L, a, b, °Hue, Cromo e índice de color en: (A) dos Sitios de cultivo (1 y 2), y (B) cuatro tratamientos (T1= 100 % agua potable;	

T2= agua de coco al 50 %; T3= agua de coco al 100 %; T4= Megafol) en frutos verdes de *Vanilla planifolia*.67

Figura 2.3 Representación gráfica de la distribución de variables en dos Sitios de cultivo (1 y 2) y en cuatro tratamientos (T1= 100 % agua potable; T2= agua de coco al 50%; T3= agua de coco al 100 %; T4= Megafol) del porcentaje de: **(A y B)** azúcares solubles totales (AST), glucosa, fructosa, sacarosa, almidón; de **(C y D)** clorofila a (Cla), clorofila b (Clb), Clorofila total (CIT), xantofilas y carotenoides (Cx+c); y **(E y F)** compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides (Flav), proporción CFT/Flav en frutos beneficiados de *Vanilla planifolia*..... 70

Figura 2.4 Representación gráfica de los parámetros de color L, a, b, °Hue, Cromo e índice de color en: **(A)** dos Sitios de cultivo (1 y 2), y **(B)** cuatro tratamientos (T1= 100 % agua potable; T2= agua de coco al 50 %; T3= agua de coco al 100 %; T4= Megafol) en frutos beneficiados de *Vanilla planifolia*.81

Figura 2.5 Representación gráfica de la distribución en dos Sitios de cultivo (1 y 2) y en cuatro tratamientos (T1= 100 % agua potable; T2= agua de coco al 50 %; T3= agua de coco al 100 %; T4= Megafol) del porcentaje de: **(A y B)**, azúcares solubles totales (AST), glucosa, fructosa, sacarosa, almidón y de **(C y D)** compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides (Flav), y de la proporción CFT/Flav en frutos beneficiados de *Vanilla planifolia*.84

INTRODUCCIÓN GENERAL

La vainilla tuvo su origen en México, específicamente en la zona donde se asentaron los totonacas, quienes domesticaron la vainilla por primera vez, aunque existen registros de que ésta ya había sido utilizada por los mayas pre - Colombinos en el sudeste de México y América central (Lubinsky, 2008). Estos grupos indígenas usaban la vainilla como medicina, como un tributo para los Dioses y por supuesto como saborizante (Bythrow, 2005). En México la producción de la vainilla se centra en tres estados principales: Veracruz que produce 70% de vainilla, dentro del que se encuentra el municipio de Papantla, considerado como el centro del procesado y de la comercialización de la especie. Además, el estado de Puebla y Oaxaca que producen 30%, y también en pequeñas cantidades San Luis Potosí, Hidalgo, Chiapas y Quintana Roo (Hernández – Hernández, 2011).

En la actualidad la vainilla tiene múltiples usos en la industria artesanal, tabacalera, cosmética, farmacéutica (González - Arnao *et al.*, 2009), inclusive en la industria alimenticia es utilizada como preservativo alimenticio debido a sus propiedades antioxidantes (Karathanos *et al.*, 2007). Por otro lado, en México el comercio de la vainilla ha ganado un amplio potencial lucrativo debido a su gran popularidad como uno de los principales saborizantes a nivel mundial, por ser el país de origen de la vainilla, durante un largo período fue el único país exportador, hasta que otros países, como Francia, descubrieron como cultivar dicha orquídea (Rodríguez – López, 2016). A partir de ese momento fue que México perdió la importancia que tenía en cuanto a la producción de la vainilla a tal grado de verse rebasado por la competencia con otros países (Bermúdez y Treviño, 2015).

A nivel mundial, los principales países consumidores de vainilla beneficiada en orden de importancia por cantidad de importación son Estados Unidos de América con 1600 toneladas, Francia con 891 t, Filipinas 710 t y Alemania 601 t. Por otro lado, se reporta que los países competidores de México que exportan en toneladas son: Madagascar (1575), India (606), Francia (532), Estados Unidos de América (338) y Alemania (289). Además, se menciona que, pese a que México es considerado como un país productor de vainilla, no se encuentra entre los principales exportadores reportados en el año 2016 (SAGARPA, 2017).

Al ser la gran mayoría de los sistemas de producción de vainilla manejados por método tradicional, estos presentan características similares en cuanto a la nutrición del cultivo, es decir, de fertilización orgánica (Barrera-Rodríguez *et al.*, 2009). Esta afirmación coincide con lo presentado por Hernández-Hernández (2014) quién menciona que los materiales vegetales

y animales descompuestos de manera natural que se encuentran en el suelo de los cultivos de vainilla han funcionado como abonos orgánicos, dónde normalmente no se aplican fertilizantes químicos.

En diferentes estudios se ha encontrado que el agua de coco contiene diversos compuestos orgánicos y nutrientes minerales importantes para el desarrollo de las plantas (Ramírez-Luna *et al.*, 2005; Vieira de Souza *et al.*, 2013; Sandoval-Prando *et al.*, 2014). Es importante hacer énfasis en que el agua de coco no afecta la fertilidad del suelo como puede llegar a suceder con los micronutrientes químicos (Gaddamwar y Rajput, 2013). Por lo que se propone el uso de agua de coco como una opción de aporte de nutrientes para la planta de vainilla.

México es el octavo productor de cocoteros a nivel mundial (1.7% de la producción mundial), es una palma que se encuentra sobretodo en regiones tropicales, en la costa del pacífico son: Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas; en la costa del Golfo de México los principales estados productores son: Campeche, Tabasco, Quintana Roo, Yucatán, Puebla y Veracruz (SAGARPA, 2017). En este contexto, tomando en cuenta que Veracruz es uno de los principales estados donde se cultiva la vainilla y algunas especies de coco en regiones similares, los productores pueden aprovechar los beneficios económicos de ambos. Además de promover el uso de fertilizantes orgánicos que podrían contribuir al correcto desarrollo de la orquídea, y eventualmente incrementar el rendimiento de dicho cultivo. Basado en que se ha documentado que el fruto de la palma de coco también promueve el crecimiento vegetal a través del contenido fitohormonas (Sandoval -Prando *et al.*, 2014).

1. *Problema de investigación*

La vainilla es considerada el oro negro y al ser México el centro origen, debería ser un cultivo con enorme potencial económico, sin embargo, en los últimos años el rendimiento de kilogramos de frutos de vainilla verde por hectárea ha disminuido considerablemente (INIFAP, 2011). En México, esto se ha atribuido a diversos factores como la susceptibilidad de la orquídea al ataque de enfermedades, a la caída del fruto que es un fenómeno que se ha normalizado con el tiempo, ya que ha ocurrido desde los inicios del cultivo de vainilla, sin embargo, comenzó a verse como un problema severo a partir del 2005 (Borbolla – Pérez *et al.*, 2016). En un estudio realizado por Hernández-Miranda *et al.* (2018) se menciona que la caída prematura de fruto es de alta incidencia en cultivos comerciales, esto debido a diversos factores, entre los que destacan: nutrición inadecuada de los cultivos, desarrollo anómalo del embrión, patógenos, polinización y medio ambiente (Borbolla – Pérez, 2016). Este fenómeno representa

hasta 99% de la ausencia de transformación de flor a fruto en orquídeas (Hernández-Miranda *et al.*, 2018).

La nutrición de la vainilla es un tema que se ha dejado de lado por mucho tiempo, a pesar de que es un factor básico de dominar para poder generar un programa de producción (González-Chávez *et al.*, 2018). En la actualidad aún no se ha logrado determinar con precisión los requerimientos nutrimentales de la planta, tampoco se han establecido las concentraciones a las que deben estar los posibles nutrientes benéficos para el desarrollo adecuado de la planta (Carrillo-González y González-Chávez, 2018). Lo que se sabe hasta la fecha es que la nutrición de la vainilla es orgánica (Barrera-rodríguez *et al.*, 2011). En este sentido, se sugiere la alternativa de aplicar nutrientes adicionales, con contenido de fitohormonas (reguladores) y otros minerales que necesita la orquídea. Yong *et al.* (2009) mencionan que el agua de coco es rica en auxinas y citocininas, giberelinas, iones inorgánicos (especialmente potasio) y vitaminas. Las fitohormonas presentes en el agua de coco actúan incrementando el crecimiento de las plantas (Winarto y Teixeira da Silva, 2015). Además, se ha demostrado que las auxinas participan en el proceso del desarrollo de flor a fruto (Hernández-Miranda *et al.*, 2018).

2. Objetivos e hipótesis

General

Determinar el efecto de una solución nutritiva con agua de coco en la planta de vainilla durante el periodo de floración, sobre las características físico-químicas y los compuestos aromáticos de los frutos de vainilla (*Vanilla planifolia*). Además de analizar el potencial impacto del uso del agua de coco en el beneficio–costo del manejo del vainillal.

Específicos

1. Describir el vainillal de estudio, en cuanto a densidad (altura de la planta, número de guías por mata, número de tutores), nutrición, sistema de riego y manejo del cultivo.
2. Analizar en dos concentraciones el efecto de la solución de agua de coco respecto a un bioestimulante (Megafol®) en las características físicas y químicas de los frutos verdes y beneficiados de vainilla cosechados a las 30 semanas después de la polinización.
3. Realizar análisis de contenido de fitohormonas y minerales presentes en el agua de coco de cocos cosechados en la zona de estudio (*Cocos nucifera* L.).
4. Hacer un estudio de caso del beneficio-costo para los productores de la adopción de la innovación tecnológica.

Hipótesis

La aplicación de la solución nutritiva con agua de coco modificará positivamente la producción y las características físicas y tendrá un efecto positivo en la acumulación de los compuestos químicos de los frutos verdes y beneficiados de *Vanilla planifolia*.

3. Literatura citada

- Barrera-Rodríguez, A. I., Jaramillo-Villanueva, J. L., Escobedo-Garrido, J. S. y 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: 625-638.
- Barrera-Rodríguez, A. I., Jaramillo-Villanueva, J. L., Escobedo-Garrido, J. S. y 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: 625-638.
- Bermúdez – Avendaño J L y Treviño – Treviño F. (2015). Estudio de la cadena de suministro de la producción de vainilla en México. *Vincula tégica efan*, 1: 178-197.
- Borbolla – Pérez, V, Iglesias – Andreu, L G, Escalante – Manzano, E A, Martínez – Castillo J, Ortiz – García M M y Octavio – Aguilar P. (2016). Molecular and microclimatic characterization of two plantations of *Vanilla planifolia* (Jacks ex Andrews) with divergent backgrounds of premature fruit abortion. *Scientia Horticulturae*, 212: 240-250.
- Bythrow J D. (2005). Vanilla as a medicinal plant. *Seminars in Integrative Medicine*, 3: 129-131.
- Carrillo – González, R. y 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: 37-44.
- Gaddamwar A y Rajput P R (2013). Influence of Constituents of Coconut Water on Fenugreek Plant. *International Journal of Herbal Medicine*, 1: 162-168.
- González – Arnao M. T., Lázaro – Vallejo C.E., Engelmann F., Gómez – Pastrana R., Martínez – Campo Y.M., Pastelin – Solano M.C. y Díaz – Ramos C. (2009). Multiplication

- cryopreservation of vanilla (*Vanilla planifolia*, “Andrews”) In *Vitro Cellular and Developmental Biology Plant*, 45: 574-582
- González – Chávez M.C., Carrillo – González R., Villegas – Monter A., Delgado – Alvarado A., Perea – Vélez S.Y. y Herrera – Cabrera B.E. (2018). Uso de vermicompost para la propagación de estacas de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). *Agroproductividad*, 11: 22-28.
- Hernández – Hernández, J. (2011). Paquete tecnológico vainilla (*Vanilla planifolia* Jackson). Establecimiento y mantenimiento. SAGARPA-INIFAP, Tlapacoyan. 25 p.
- Hernández – Hernández J. (2014). Técnicas implementadas para el cultivo de vainilla en México. Araya Fernández et al. (Presidencia). I *Seminario Internacional de Vainilla*. Promoviendo la investigación, extensión y producción de vainilla en Mesoamérica. CONICIT, Costa Rica.
- Hernández – Miranda O.A., Cruz-Ruiz Y., Campos J.E., Herrera – Cabrera B.E. y Salazar – Rojas V. M. (2018). Expresión diferencial del gen *arf8* involucrado en el metabolismo de auxinas durante la transición de flor a fruto en *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Agroproductividad*, 11: 15-21.
- INIFAP. (2011). Paquete Tecnológico Vainilla (*Vanilla planifolia* Jackson) Establecimiento y mantenimiento. Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico Húmedo, 2011. Recuperado el 17 de septiembre del 2018 de Sitio web: http://edual.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/folleto_VAINILLA_establecimiento-mantto.pdf
- Lubinsky P., Bory S., Hernández – Hernández J., Kim S. C., Gómez – Pompa A. (2008). Origins and Dispersal of Cultivated Vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. [Orchidaceae]). *Economic Botany*, 62: 127 – 138.
- Musalem – López O. (2001). La copra, su importancia y comercialización en México. *Claridades agropecuarias*.
- Rodríguez – López T. 2016. La vainilla (*Vanilla planifolia*): perfume y sabor de México que conquistó al mundo: II: Usos y cultivo. *Herbario CICY*, 8: 93 – 96.
- SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. (1era Edición). Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257086/Potencial-Vainilla.pdf>

- Sandoval – Prando M. A., Chiavazza P., Faggio A., Contessa C. (2014). Effect of coconut water and growth regulator supplements on *in vitro* propagation of *Corylus avellana* L. *Scientia Horticulturae*, 171: 91 – 94.
- Santillán – Fernández A., Trejo Cabrera M., Martínez Sánchez A., Martínez Ángel L., Vásquez Bautista N. y Mejía S. L. (2019). Potencial productivo de *Vanilla planifolia* Jacks en el Totonacapan, México, mediante técnicas geográficas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10: 789 – 802.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2017. Producción Agrícola. <http://www.siap.gob.mx/> (13 febrero 2020).
- Vieira de Souza, R. A., Tavares Braga, F., Alemu Setotaw, T., Vieira Neto, J., Helena de AzevedoI, P., Helena de AzevedoI, V., Magela de Almeida CançadoII. G. (2013). Effect of coconut water on growth of olive embryos cultured *in vitro*. *Ciencia Rural*, 43: 290-296.
- Winarto, B. y Teixeira da Silva, J.A. (2015). Use of coconut water and fertilizer for *in vitro* proliferation and plantlet production of *Dendrobium* ‘Gradita 31’. *In vitro Cellular Development Biology*, 51:303-314.

CAPÍTULO I. EFECTO DEL AGUA DE COCO EN EL RENDIMIENTO DE FRUTOS DE VANILLA Y SU RELACION CON VARIABLES AMBIENTALES

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo conocer el manejo del cultivo y el efecto de los tratamientos a base de agua de coco (*Cocos nucifera* L.) y un bioestimulador de crecimiento en el peso y rendimiento de frutos de *Vanilla planifolia*, además de su relación con variables ambientales en el cultivo. El estudio se realizó en un vainillal en malla sombra con tutores de bambú en Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz. En el vainillal se registraron datos de las plantas: número de guías por mata, altura de la planta, altura de tutores, distancia entre tutores, grosor de esqueje; en los frutos: peso, largo, ancho, grosor y volumen; y variables ambientales (temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa, RFA). Desde la floración, las plantas se asperjaron, cada dos semanas durante tres meses con cuatro tratamientos (T1: 100% agua, control; T2: 50% agua de coco T3: 100 % agua de coco y T4: solución de Megafo®) en dos sitios dentro del mismo vainillal. El análisis estadístico consistió de ANAVA, prueba de medias y análisis de correlaciones canónicas. La aspersion de agua de coco en las plantas de vainilla tuvo un efecto significativo entre sitios y entre tratamientos. En el sitio 1 los tratamientos que mostraron mejores resultados fueron T2 y T3, y en el sitio 2 no se obtuvieron diferencias significativas en las variables de fruto, pero si en las de componentes de rendimiento. Los tratamientos de 50% (T2) y 100% (T3) de agua de coco mostraron un incremento de 15 y 20% en el peso fresco de los frutos respecto al control. El análisis de correlaciones canónicas evidenció que la RFA y la humedad relativa se relacionaron de manera diferente con variables de componentes de rendimiento en función del Sitio del vainillal. La utilización del agua de coco como una alternativa orgánica para fertilización puede reducir la aplicación de sustancias químicas y disminuir los costos de producción, entre otras ventajas. Se concluye que el agua de coco aplicada al inicio de la etapa de floración en vainilla, tiene un efecto significativo en las dimensiones y peso de los frutos y puede ser una alternativa orgánica para la nutrición e incremento del rendimiento en vainilla.

Palabras clave: Ambiente, *Cocos nucifera* L., nutrición, peso de fruto,

1.1 INTRODUCCIÓN

La especie *Vanilla planifolia* pertenece a la familia Orchidaceae, la cual comprende 27,800 especies (Christenhusz & Byng, 2016), siendo el género *Vanilla* el único que tiene algunas especies que producen frutos con objetivos comerciales (Menon y Nayeem, 2013).

Vainilla es un género de distribución pantropical, es decir que crece en la zona de los 27° de latitud norte y sur, debido a esto, geográficamente, la vainilla se encuentra en la zona de América tropical, el sudeste de Asia y nueva Guinea, África, las islas del Océano Índico y el Pacífico (Minoo *et al.*, 2007). De este género se conocen cerca de 107 especies (Soto-Arenas y Dressler, 2010). Uno de ellos es *V. planifolia*, que es planta herbácea, perenne trepadora de árboles o algún otro tipo de soportes (Mushimiyimana *et al.*, 2011) y puede alcanzar hasta los 15 m de altura debido a que utiliza sus raíces adventicias para adherirse al tutor, también cuenta con raíces en la parte basal de la planta, por lo que es una especie de hábito hemiepífito (Canestraro *et al.*, 2014). Las flores son largas y cerosas, de un color amarillo pálido, bisexuales y zigomorfas (Umamaheswari y Mohanan, 2011).

La planta de vainilla tiene hojas de forma oblonga – elíptica lanceolada. El fruto que se obtiene es carnoso y delgado y en promedio mide entre 15 y 23 cm de largo, con numerosas semillas microscópicas, la germinación a partir de las semillas no se puede dar debido a su tamaño, además de que su cápsula contiene sustancias que impiden dicho proceso (Soto-Arenas y Solano-Gómez, 2007).

El crecimiento de la vainilla, de manera óptima, tiene requerimiento agroecológicos particulares, como los siguientes: es una orquídea que se produce en clima tropical cálido húmedo (Soto-Arenas y Solano-Gómez, 2007); las temperaturas en que la vainilla prospera son de 20 a 30°C (Ranadive, 2005); la planta necesita de una precipitación anual entre 2000-3000 mm (Soto, 2003); en México, el modelo actualizado delimita la zona de distribución en un rango altitudinal de 200 a 1190 m (Hernández-Ruiz *et al.*, 2016), ya que reportes de especímenes previos ubicaban a la especie en un rango altitudinal de 250 a 750 m (Soto-Arenas, 1999), aunque, normalmente los cultivos se encuentran de 0 a 600 msnm, en la India puede llegar a crecer hasta los 1500 msnm (Anadararaj, 2005). La vainilla requiere una proporción de 50-50% de luz y sombra, aunque en temporadas de mucho sol, es preferible mantenerla con 70% de sombra para que la humedad se conserve, mientras que en los meses de lluvia la sombra debe ser únicamente del 30% para evitar el exceso de humedad (INIFAP, 2011).

El cultivo de la vainilla, al ser una orquídea hemiepífita, necesita de árboles tutores que le den soporte. En México, la vainilla puede ser cultivada de cuatro formas (sistemas): en acahual, que es vegetación secundaria nativa e introducida, conocido como el método tradicional; el segundo método se presenta como vegetación secundaria, es decir, los árboles tutores pueden ser de naranja (*Citrus sinensis*), siendo este el principal cultivo. En el método intensivo, se utilizan árboles como el *Erythrina sp.* o *Gliricidia sepium* como tutores y se siembran a corta distancia en hileras. Finalmente, otro método es bajo casa-sombra con tutores inertes (BHavkin-Frenkel y Belanger, 2018).

En la región del Totonacapan los dos sistemas más utilizados son el de acahual y malla sombra (Espinoza-Pérez *et al.*, 2018). El primero, es el más antiguo sobre el manejo de la vainilla, porque involucra selva, brinda cerca de 50-70 % de sombra y la ventilación que el cultivo requiere, para su óptimo desarrollo. El cultivo bajo sistema de malla sombra ofrece alrededor de 50-80 % de sombra (Barrera-Rodríguez *et al.*, 2009). En acahual, la vainilla obtiene la mayoría de los nutrientes a partir de la materia orgánica que se acumula en el suelo cuando el tutor desprende sus hojas. Bajo malla, los productores afirman que el cuidado y manejo del cultivo se realizan de mejor manera, así, las plantas crecen mejor, es decir mediante la aplicación de agroquímicos y la implementación de un sistema de riego (Hernández-Hernández, 2014). Por otro lado, el rendimiento es uno de los factores importantes a considerar en el cultivo de la vainilla. La OCDE-FAO (2012) describen al rendimiento agrícola tomando en cuenta el rendimiento por unidad promedio, que es la base para realizar el cálculo entre el rendimiento potencial económico en relación con el rendimiento potencial que se podría tener de algún cultivo en particular alrededor del mundo, estos rendimientos a su vez dependen de los recursos genéticos, manejo agrícola, clima, nutrición, disponibilidad de agua, radiación solar y temperatura, entre otros.

De acuerdo con Rocha *et al.* (2018) es indispensable tomar en cuenta las variables que describan el rendimiento potencial del cultivo de vainilla, de manera que después se puedan considerar en el manejo del vainillar y así obtener un mayor rendimiento. En el estudio realizado por estos autores se consideraron 28 variables agronómicas de acuerdo a la revisión de diversos estudios en los que se evaluó el rendimiento en especies vegetales de reproducción por esqueje. En función de lo anterior, y con el propósito de conocer si la aplicación de agua de coco, tiene un efecto en el rendimiento de los frutos de vainilla. El presente estudio tuvo como objetivo conocer la respuesta en las plantas de *Vanilla planifolia* J. ex Andrews, a la

aplicación de agua de coco (*Cocos nucifera* L.) y un bioestimulador de crecimiento bajo condiciones de malla sombra en Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz, México.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de los sitios de estudio

El estudio se llevó a cabo durante el 2019, en una plantación de vainilla con tutores inertes (bambú) bajo el sistema de malla sombra de 4 y 3 años de edad, según la ubicación dentro del vainillal. La malla que se utilizó es de 50 % de sombra en invierno y principios de primavera y en la segunda mitad de la primavera, verano y otoño otra malla sobrepuesta de similares características. El vainillal consta de un área de 40 x 20 m haciendo un total de 800 m², se encuentra ubicado en la localidad de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz con una ubicación de longitud: -97.123611 y latitud: 20.443056 a una altura de 20 metros sobre el nivel del mar (Figura 1.1) (Google, s.f.).

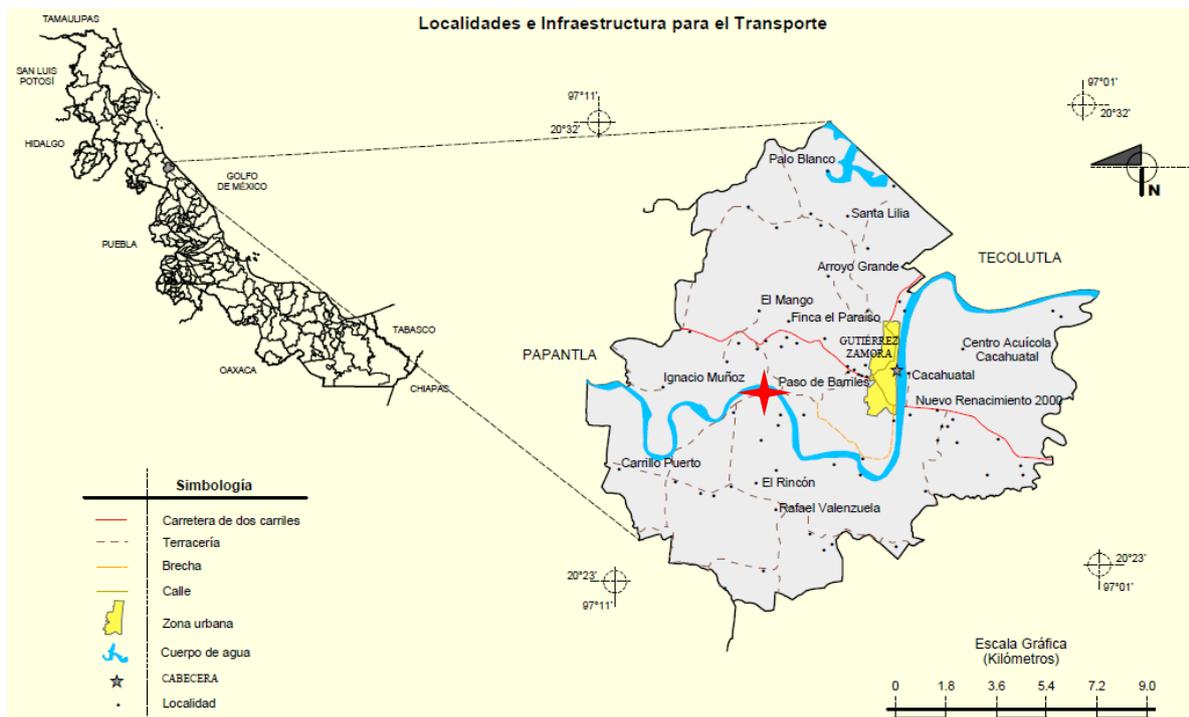


Figura 1.1 Mapa de ubicación de la región de estudio (★): Localidad de Paso de Barriles en el municipio de Gutiérrez Zamora, Veracruz (Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1) (INEGI 2009).

De acuerdo con el INEGI (2009), el tipo de relieve que se encuentra en el sitio de estudio corresponde en su mayoría a lomerío, clima cálido subhúmedo con abundantes lluvias en verano. La geología o clase de roca es sedimentaria, este tipo de rocas son aquellas que se

formaron a partir de la precipitación y acumulación de materia mineral y la compactación de restos vegetales y/o animales. Estos sedimentos se acumulan en una capa sobre otra hasta formar una roca (Servicio Geológico Mexicano, 2017). Los suelos dominantes en esta zona son de tipo regosol los cuales se caracterizan por ser sueltos débilmente desarrollados a base de minerales (Bautista-Zúñiga *et al.*, 2010). Respecto a la precipitación, INEGI (2009) reporta una precipitación promedio entre 1400 y 1600 mm al año, aunque haciendo un resumen de los datos de precipitación de la unidad meteorológica más cercana al sitio de estudio, ubicada en Papantla de Olarte se encontraron los datos reportados en la Figura 1.2 (CONAGUA, 2019).

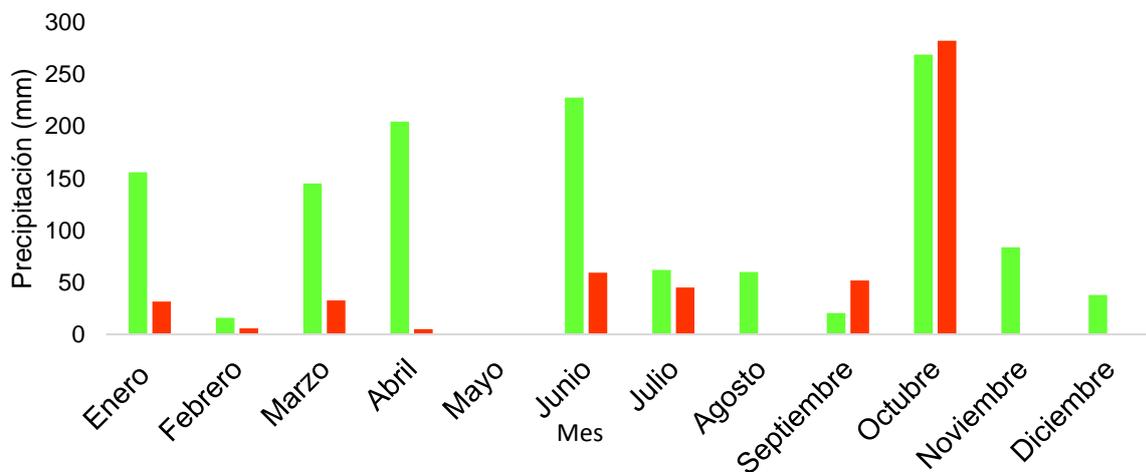


Figura 1.2. Precipitación (mm) de los años 2018 (■) y 2019 (■) en el municipio de Papantla de Olarte, Veracruz de la Llave, México.

Ubicación de los sitios de estudio

Una vez seleccionado el vainillal, se hizo una selección de surcos para ubicar los sitios. De esta forma, dentro del vainillal se ubicaron dos sitios, el Sitio 1 del lado norte con 4 años de edad, que incluyó un surco de 24 m más un tercio de 8 m de otro surco, y el Sitio 2 del lado sur con 3 años de edad, que incluyó dos surcos de 14.5 m cada uno (Figura 1.3). Esto con el fin de realizar una comparación del posible efecto de los tratamientos en diferentes ubicaciones dentro del mismo vainillal. También se consideró el factor ambiental y sobre todo la incidencia de la luz solar sobre el mismo.



Figura 1.3. Representación esquemática de la ubicación del Sitio 1 y Sitio 2 en el vainillal de estudio, y la ubicación de los tratamientos dentro del sitio, en la localidad de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Área del vainillal

La superficie del vainillal se determinó en metros cuadrados (m^2) mediante la medición del largo y el ancho de la totalidad del terreno en donde se encontraba el cultivo de vainilla. En este sentido también se tomaron medidas del largo de calle, ancho de calles, distancia entre tutores, estas variables se identifican en la Figura 1.3. Las mediciones se realizaron con la ayuda de un Flexómetro Gripper contra impacto de 8 m con cinta de 25 mm, marca TRUPER®.

Descripción del vainillal

En el año 2019 que se llevó a cabo el experimento, el vainillal estuvo en su cuarto año de producción, bajo sistema de cultivo de malla sombra con tutores inertes (bambú amarillo). El vainillal tiene un sistema de riego que en temporada de estiaje lo aplican tres veces por semana y en temporada de lluvia según el criterio del productor cuando la composta necesita humedad. Para mantener la densidad que desea el productor, se realiza poda de las plantas una vez al año, de manera moderada, dependiendo de qué tan densa este la plantación.

En cuanto a la fertilización, los materiales orgánicos que se utilizan son compostas y hojarasca, de tal forma que cada año se acumulen 10 cm de este material para que así las raíces de la vainilla estén bien cubiertas. Además, aplican productos de origen químico como: Bayfolan[®] (Bayer CropScience), que es un nutriente foliar multipropósito que aparte de aportar nitrógeno, fósforo y potasio contribuye con nutrientes, fitohormonas, vitaminas y regula el pH; Banathed plus[®] (Thedal Internacional) que proporciona vigor a las plantas, contiene potasio que se aplica vía foliar, previene enfermedades, aumenta el tamaño de los frutos; Cabthed[®] (Thedal Internacional), que ayuda la fertilidad de flores y semillas.

En el lugar de estudio, el productor ha detectado la incidencia de ataque de plagas, más a menudo se encuentra chinche roja (*Tentecoris confusus*), caracol (*Helix aspersa*), gusano peludo (*Estigmene acrea*) y hormigas (*Formicidae*). El control de las mismas se realiza de manera manual, retirando los órganos dañados, además de la aplicación de peritroides; también existe la incidencia de enfermedades causadas principalmente por hongos. El productor realiza el control de manera manual siempre y cuando sea controlable, de no ser así, se aplica Promyl[®] (benomilo) y caldo bordelés, ambos fungicidas.

Tratamientos aplicados

El experimentó consistió en la aplicación de cuatro tratamientos con 10 repeticiones, cada uno, cada repetición consistió de un metro lineal de plantas. El tratamiento 1 (T1) las plantas se asperjaron con agua potable al 100%, el tratamiento 2 (T2), consistió en asperjar las plantas con una solución de agua de coco al 50%, en el tratamiento 3 (T3), las plantas se asperjaron con 100 % agua de coco y en el tratamiento 4 (T4), las plantas se asperjaron con un bioestimulante, Megafol[®] (Valagro) en la dosis recomendada por el fabricante (3 ml L⁻¹). La aspersión de los tratamientos se realizó a las dos semanas del inicio del periodo de floración, por las mañanas entre 9:00-10:00 am, cada dos semanas durante tres meses.

Variables a evaluar

Las variables consideradas para la evaluación del rendimiento en vainilla fueron seleccionadas a partir del estudio realizado por Rocha *et al.* (2018). A partir de ello se tomaron en cuenta nueve variables (número de guías por mata, altura de la planta, altura de tutores, distancia entre tutores, grosor de esqueje y en frutos el largo, ancho, grosor y peso) para evaluar el desarrollo y rendimiento que tuvieron las plantas.

Durante el periodo de cosecha de los frutos de vainilla del ciclo de producción 2019, aproximadamente a las 30 semanas después de la floración, en cada una de las 10 repeticiones de todos los tratamientos, se registró el número de guías por tutor a una altura de 0.5 m del suelo, altura de la planta, grosor del esqueje en 5 esquejes por repetición de cada tratamiento.

Densidad y rendimiento en planta y fruto

En los frutos se registró: largo, ancho, grosor y peso de cada fruto verde, según el número de frutos que se cosecharon se hicieron entre 200 y 500 mediciones por tratamiento. En un metro lineal, se contaron el número de frutos, así como el peso total de los mismos.

Dimensiones de los frutos

Los largos de los frutos se midieron en centímetros (cm) con una cinta métrica, mientras que el ancho y el grosor en milímetros (mm) con un vernier Digimatic ABSOLUTE 500 series marca Mitutoyo.

Peso del fruto

Se registró en gramos (g) con una balanza digital marca ADAM modelo HCB3001.

Número de guías por tutor

El total de guías alrededor de un tutor se consideró una mata. En cada tutor se registró el número de guías que constituían la mata.

Altura de la planta

La altura de la planta se midió desde el ras del suelo y hasta la punta máxima que alcanzó la planta en metros (m) con ayuda de un flexómetro.

Grosor del esqueje

En cada tratamiento la medición del grosor de esquejes se realizó a una altura promedio de 1.4 m, se registró en 5 esquejes por cada repetición, dando un total de 50 repeticiones por cada uno de los cuatro tratamientos tanto en el Sitio 1 como en el Sitio 2. Esta medición se realizó en mm con la ayuda de un vernier Digimatic ABSOLUTE 500 series marca Mitutoyo.

Variables ambientales

Durante el periodo de febrero a octubre de 2019, se registraron los datos de temperatura, humedad relativa y luminosidad de los dos sitios de estudio, las lecturas se tomaron cada hora, todos los días. Dichos datos se detectaron con un datalogger U12 – 012 (Onset HOBO®), ubicado a una altura del suelo de 2 m.

Diseño experimental

Una plantación de vainilla da su primera cosecha, en promedio, a los tres años, por lo que para evaluar plantas en producción el sitio de estudio tenía cuatro años de establecido. Se consideraron dos sitios dentro de una misma malla sombra, la representación de la orientación y distribución de los tratamientos (T1, T2, T3 y T4) en cada sitio quedaron ubicados como se muestra en la Figura 1.3. Cada tratamiento incluyó 10 repeticiones y cada repetición consistió de un metro lineal de plantas (0.6 m²).

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza (ANOVA) dentro y entre sitios, para cada uno de los caracteres cuantificados bajo el diseño de bloques completamente al azar (PROC GLM SAS), con el software estadístico SAS (SAS, 2004). La comparación de medias en los sitios se calculó con base en la media armónica (n), mediante la prueba de Tukey para todas las variables. Con el propósito de relacionar el conjunto de datos de las variables biológicas y su relación con las variables climáticas, se realizó el análisis de correlaciones canónicas (ACC). Para las variables de componentes de rendimiento y de frutos se realizó una prueba de medias por haber sido tomadas solamente en un sitio, para referenciar el resultado como una observación.

1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del efecto de los tratamientos sobre las variables de fruto de vainilla

El análisis de varianza realizado para evaluar el efecto de los tratamientos sobre las variables de los frutos en el Sitio 1 del vainillal, indicó que se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.0001$) (Cuadro 1.1). Las variables de densidad de plantas, altura de planta, número de guías por m², número de frutos por maceta y peso total de frutos por m², aunque presentaron diferencias entre tratamientos, indican más bien el manejo del vainillal al momento de realizar el experimento.

Por otro lado, las variables que respondieron a los tratamientos y que mostraron mejores resultados en los frutos con la aplicación del T2 y T3, fueron: peso fresco (T2 = 9.45 g y T3 = 9.96 g), largo (T2 = 16.52 cm y T3= 16.02 cm), grosor (T2 = 0.86 cm y T3 = 0.87 cm), ancho (T2 = 1.05 cm y T3 =1.08 cm) y volumen de fruto (T2 = 15.07 cm³ y T3 = 15.17 cm³) (Cuadro 1.2). Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Buah y Agu-Asare (2014), quienes analizaron el efecto de agua de coco (AC) de frutos frescos y secos contra bencil-amino purina (citoquinina sintética) sobre el crecimiento *in vitro* de banana; los mejores resultados se localizaron con AC de frutos frescos sobre las variables: número de raíces, altura de planta, número de hojas, peso fresco y peso seco, con lo que se confirmó que el AC posee reguladores del crecimiento con las misma función que la bencil-amino purina. El efecto que tiene el AC es el de incrementar el contenido de nitrógeno en las hojas, el cual es importante para la formación de enzimas y hormonas en las plantas (Al-hasnawi, 2011), así como para la inducción de división celular para un crecimiento más rápido (Peixe *et al.*, 2007). El AC es usado comúnmente de manera tradicional como un suplemento en tejidos de planta y esto se justifica por su composición química única (azúcares, vitaminas, minerales y fitohormonas) (Yong *et al.*, 2009).

Cuadro 1.1 Análisis de varianza para rendimiento y sus componentes de planta y fruto de *Vanilla planifolia* para los cuatro tratamientos del Sitio 1, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

	Variable	Cuadrados medios			
		Media	CV (%)	Tratamiento	Error
Componentes de rendimiento	Altura de planta (m)	2.15	5.75	0.11***	0.01
	Grosor de esqueje (cm)	0.99	6.21	0.004 ^{ns}	0.003
	N° de guías · m ⁻²	12.28	26.48	72.99***	10.58
	N° de macetas por guía	1.56	63.12	1.00 ^{ns}	0.98
	N° de macetas · m ⁻²	17.30	52.71	11.40 ^{ns}	83.17
	N° de frutos por guía	11.00	104.69	207.33 ^{ns}	132.62
	N° de frutos por maceta	7.48	30.94	225.07***	5.36
	N° de frutos · kg ⁻¹	105.65	20.06	703.51 ^{ns}	449.25
	N° de frutos · m ⁻²	101.95	50.40	4371.11 ^{ns}	2640.97
	Peso total de frutos (g · m ⁻²)	1009.47	39.90	879034.36***	162272.15
	Rendimiento (g m ⁻²)	863.38	45.29	174647.27 ^{ns}	152967.41
Fruto	Peso de fruto (g)	8.85	9.65	10.83***	0.72
	Largo de fruto (cm)	15.93	3.95	2.09***	0.39
	Ancho de fruto (cm)	1.03	4.89	0.01***	0.002
	Grosor de fruto (cm)	0.83	5.60	0.01***	0.002
	Largo · ancho de fruto (cm ²)	16.47	8.18	11.82***	1.81
	Volumen (cm ³)	13.88	12.57	23.00***	3.04

***: diferencia significativa ($P < 0.0001$); NS: valores estadísticamente no significativos

Cuadro 1.2. Comparación de medias de componentes de rendimiento de planta y variables físicas de fruto de *Vanilla planifolia* por tratamiento del Sitio 1, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

	Variable	Tratamiento			
		1	2	3	4
Componentes de rendimiento	Altura de planta (m)	2.28 ^a	2.15 ^{ab}	2.14 ^{ab}	2.02 ^b
	Grosor de esqueje (cm)	0.99 ^a	1.01 ^a	0.96 ^a	0.98 ^a
	N° de guías · m ⁻²	9.67 ^b	15.90 ^a	12.61 ^{ab}	10.93 ^b
	N° de macetas por guía	1.83 ^a	1.11 ^a	1.72 ^a	1.60 ^a
	N° de macetas · m ⁻²	17.40 ^a	17.40 ^a	18.50 ^a	15.90 ^a
	N° de frutos por guía	20.60 ^a	6.80 ^a	8.20 ^a	8.40 ^a
	N° de frutos por maceta	17.38 ^a	5.81 ^b	2.96 ^b	3.77 ^b
	N° de frutos · kg ⁻¹	89.80 ^a	112.80 ^a	103.60 ^a	116.40 ^a
	N° de frutos · m ⁻²	141.80 ^a	106.20 ^a	75.20 ^a	84.60 ^a
	Peso total de frutos (g · m ⁻²)	1620.2 ^a	945.5 ^{ab}	756.5 ^b	715.7 ^b
Rendimiento (g m ⁻²)	1064.7 ^a	977.1 ^a	735.1 ^a	676.6 ^a	
Fruto	Peso de fruto (g)	7.68 ^b	9.45 ^a	9.96 ^a	8.31 ^b
	Largo de fruto (cm)	15.44 ^b	16.52 ^a	16.02 ^{ab}	15.73 ^b
	Ancho de fruto (cm)	0.98 ^c	1.05 ^{ab}	1.08 ^a	1.00 ^{bc}
	Grosor de fruto (cm)	0.78 ^b	0.86 ^{ab}	0.87 ^a	0.82 ^{ab}
	Largo · ancho de fruto (cm ²)	15.22 ^b	17.43 ^a	17.32 ^a	15.91 ^{ab}
	Volumen (cm ³)	12.04 ^b	15.07 ^a	15.17 ^a	13.22 ^{ab}

Tratamientos: 1= 100% agua potable; 2= agua de coco al 50%; 3= agua de coco al 100%; 4= Megafol®. Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa Tukey ($P \leq 0.05$).

Para el Sitio 2, el análisis de varianza (Cuadro 1.3) y la prueba de medias (Cuadro 1.4) realizados para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento del fruto, mostraron que las variables de densidad de población que presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.0001$) entre tratamientos fueron: número de guías m⁻², número de macetas por guía, número de macetas m⁻², número de frutos por guía, número de frutos por maceta, número de frutos m⁻², peso total de frutos m⁻² y rendimiento de frutos. Estas variables, aunque presentaron diferencias, no están relacionadas con el efecto de los tratamientos aplicados, ya que son variables que se obtuvieron a partir de mediciones realizadas antes o al momento de iniciado

el experimento (Cuadro 1.4). Más bien, estas variaciones pueden estar relacionadas con el manejo y edad de este Sitio ya que existe una diferencia de un año en edad de las plantas con respecto al Sitio 1. En el Sitio 2, a diferencia del Sitio 1 en las variables de fruto, la única que presentó diferencias significativas fue peso de fruto, los promedios más altos los registraron los tratamientos T3 (7.25 g) seguido del T2 (7.01 g) (Cuadro 1.4).

Por otro lado, aun cuando estadísticamente no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento, los mayores promedios se encontraron con el T2, T3 y T4 (965.4, 1243.5 y 1131.2 g m⁻², respectivamente). De la misma manera que para el Sitio 1, el aumento del peso se puede atribuir al AC y también su efecto según la concentración y variable evaluada. Lo cual está relacionado con el análisis hecho por Sandoval-Prando *et al.* (2014) quienes obtuvieron una tasa de crecimiento diferente dependiendo de la concentración del agua de coco aplicada en *Corylus avellana* L. Diez *et al.* (2015), con la aplicación de sustratos y fertilizantes foliares a base de N, P, K y cobre en la planta de *Vanilla planifolia*, llegaron a la conclusión de que el éxito de la aplicación depende de la concentración y del tiempo de evaluación, es decir, ellos descubrieron que con la aplicación de 100 g por planta de fertilizante grado 10-20-20, aumentó el número de inflorescencias por planta y se disminuyó el aborto de flores y frutos inmaduros.

Cuadro 1.3. Análisis de varianza para rendimiento y sus componentes de planta y fruto de *Vanilla planifolia* para los cuatro tratamientos del Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

	Variable	Media	CV (%)	Cuadrados medios	
				Tratamiento	Error
Componentes de rendimiento	Altura de planta (m)	2.05	5.58	0.01ns	0.01
	Grosor de esqueje (cm)	0.99	5.48	0.008ns	0.002
	N° de guías · m ⁻²	8.27	16.71	7.69**	1.91
	N° de macetas por guía	2.45	41.82	5.38**	1.05
	N° de macetas · m ⁻²	21.75	15.81	494.85***	11.82
	N° de frutos por guía	16.10	32.89	92.33**	28.05
	N° de frutos por maceta	6.85	18.02	9.38***	1.52
	N° de frutos · kg ⁻¹	161.10	16.14	705.93ns	676.62
	N° de frutos · m ⁻²	137.35	19.77	10262.45***	737.57
	Peso total de frutos (g · m ⁻²)	856.83	12.42	441899.38***	11342.90
Rendimiento (g m ⁻²)	957.65	21.57	550289.30***	42682.41	
Fruto	Peso de fruto (g)	6.89	6.62	0.87**	0.20
	Largo de fruto (cm)	14.71	3.08	0.34ns	0.20
	Ancho de fruto (cm)	0.94	4.54	0.002ns	0.001
	Grosor de fruto (cm)	0.75	5.12	0.001ns	0.001
	Largo · ancho de fruto (cm ²)	13.92	6.55	0.78ns	0.83
	Volumen (cm ³)	10.55	11.22	1.58ns	1.40

***: diferencia significativa (P < 0.0001); NS: valores estadísticamente no significativos.

Cuadro 1.4. Comparación de medias de componentes de rendimiento de planta y variables físicas de fruto de *Vanilla planifolia* por tratamiento del Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

	Variable	Tratamiento			
		1	2	3	4
Componentes de rendimiento	Altura de planta (m)	2.00 ^a	2.06 ^a	2.09 ^a	2.07 ^a
	Grosor de esqueje (cm)	0.97 ^a	1.00 ^a	1.02 ^a	0.96 ^a
	N° de guías (m ⁻²)	7.00 ^b	8.60 ^{ab}	8.50 ^{ab}	9.00 ^a
	N° de macetas por guía	1.00 ^b	2.40 ^{ab}	3.20 ^a	3.20 ^a
	N° de macetas (m ⁻²)	8.40 ^c	20.40 ^b	31.20 ^a	27.00 ^a
	N° de frutos por guía	10.20 ^b	15.80 ^{ab}	18.40 ^{ab}	20.00 ^a
	N° de frutos por maceta	8.80 ^a	6.60 ^{ab}	5.60 ^b	6.40 ^b
	N° de frutos (kg)	162.60 ^a	160.40 ^a	175.20 ^a	146.20 ^a
	N° de frutos (m ⁻²)	73.80 ^b	136.20 ^a	173.20 ^a	166.20 ^a
	Peso total de frutos (m ⁻²)	444.29 ^c	858.67 ^b	989.37 ^{ab}	1135.00 ^a
Rendimiento (g m ⁻²)	490.5 ^b	965.4 ^a	1243.5 ^a	1131.2 ^a	
Fruto	Peso de fruto (cm)	6.64 ^b	7.01 ^{ab}	7.25 ^a	6.65 ^b
	Largo de fruto (cm)	14.51 ^a	14.59 ^a	14.84 ^a	14.89 ^a
	Ancho de fruto (cm)	0.96 ^a	0.93 ^a	0.93 ^a	0.95 ^a
	Grosor de fruto (cm)	0.75 ^a	0.74 ^a	0.74 ^a	0.77 ^a
	Largo ancho ⁻¹ de fruto (cm ²)	14.03 ^a	13.58 ^a	13.82 ^a	14.23 ^a
	Volumen (cm ³)	10.61 ^a	10.15 ^a	10.36 ^a	11.08 ^a

Tratamientos: 1= 100% agua potable; 2= agua de coco al 50%; 3= agua de coco al 100%; 4= Megafol. Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa Tukey ($P \leq 0.05$).

Efecto de los tratamientos sobre los frutos de *Vanilla planifolia* para los Sitio 1 y Sitio 2

El análisis de varianza combinado realizado para los grupos de variables de rendimiento y sus componentes (10) y de fruto (6) indicó que hubo diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ y $P \leq 0.001$), en rendimiento y sus componentes entre sitios para cinco de las variables evaluadas; y entre tratamiento para dos de las variables (Cuadro 1.5).

En el fruto, todas las variables evaluadas entre sitios mostraron diferencias significativas y entre tratamientos las variables que no mostraron diferencias fueron ancho y largo por ancho (Cuadro 1.5). El coeficiente de variación en el rendimiento y sus componentes tuvo una amplitud entre 6.00 y 72.52 %, siendo el valor superior correspondiente al número de frutos por guía, lo cual se puede atribuir a la variabilidad de las plantas en el número de flores que presentó cada guía y que impactó en el amarre y desarrollo de los frutos, antes de iniciar el estudio. En el fruto, el coeficiente de variación presentó una amplitud menor (3.79 a 13.66 %) (Cuadro 1.5).

En la prueba de medias entre Sitios, el rendimiento y sus componentes mostraron valores mayores en el Sitio 1 en las variables de altura de planta y número de guías por m², y en el Sitio 2 en el número de macetas por guía, número de frutos por Kg y número de frutos por m² (Cuadro 1.6). Entre tratamientos, solo dos variables mostraron diferencia significativa, el número de guías por m² y el número de frutos por maceta, que fue significativamente mayor en el T2 y T1, respectivamente, independientemente del Sitio. En relación con las variables del fruto, el Sitio 1 tuvo los valores estadísticamente mayores tanto en el peso fresco como en las dimensiones y volumen respecto al Sitio 2 (Cuadro 1.7), posiblemente debido a que en el Sitio 1 la aplicación de los tratamientos se inició en una etapa más temprana (dos semanas antes) que la aplicación en el Sitio 2. Al respecto González *et al.* (2007) señalan que el crecimiento de coliflor (*Brassica oleracea*) fue mayor, cuando la aplicación de ácido giberélico - a cierta concentración - se hizo en una etapa temprana después de la siembra en comparación con una aplicación tardía. El efecto en los tratamientos se detectó tanto en el peso fresco, donde los tratamientos de 50 % (T2) y 100 % (T3) de AC tuvieron los valores significativamente más altos; en el largo, grosor y volumen de fruto, de los tratamientos T2, T3 y T4 que mostraron los valores mayores, aunque en el largo solo el T2 fue significativamente mayor y diferente a los demás tratamientos, y en el grosor y volumen solo el T3 (Cuadro 1.7).

Cuadro 1.5. Análisis de varianza para rendimiento y sus componentes de planta y fruto de *Vanilla planifolia* para los cuatro tratamientos del Sitio 1 y Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

	Variable	Cuadrados medios				
		Media	CV (%)	Sitio	Tratamiento	Error
Componentes de rendimiento	Altura de planta (m)	2.10	6.31	0.19***	0.03ns	0.01
	Grosor de esqueje (cm)	0.99	6.00	0.00ns	0.005ns	0.003
	N° de guías · m ⁻²	10.27	25.98	320.84***	52.35***	7.13
	N° de macetas por guía	1.86	58.52	10.34**	1.97ns	1.18
	N° de macetas · m ⁻²	18.78	46.34	264.03ns	178.15ns	75.77
	N° de frutos por guía	13.55	72.52	260.1ns	29.90ns	96.57
	N° de frutos por maceta	7.16	42.62	4.013ns	162.30***	9.33
	N° de frutos · kg ⁻¹	133.37	18.46	30747.02***	341.62ns	606.21
	N° de frutos · m ⁻²	119.65	43.76	12531.6*	655.30ns	2742.61
	Peso total de frutos (g · m ⁻²)	933.15	46.52	233009.53ns	48249.33ns	188454.11
Rendimiento (g m ⁻²)	910.51	41.63	88871.15ns	92033.94ns	143688.71	
Fruto	Peso de fruto (g)	7.87	9.55	76.81***	8.81***	0.56
	Largo de fruto (cm)	15.32	3.79	29.84***	1.22*	0.33
	Ancho de fruto (cm)	0.98	5.39	0.14***	0.003ns	0.002
	Grosor de fruto (cm)	0.79	5.91	0.13***	0.006*	0.002
	Largo · ancho de fruto (cm ²)	15.19	8.37	130.45***	3.88ns	1.62
	Volumen (cm ³)	12.21	13.66	220.91***	8.37*	2.78

***: diferencia significativa ($P \leq 0.0001$); **: diferencia significativa ($P \leq 0.001$); *: diferencia significativa ($P \leq 0.05$); ns: valores estadísticamente no significativos.

Cuadro 1.6. Promedio de variables de densidad de las plantas de vainilla evaluadas con cuatro tratamientos en dos sitios en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Factor		APL	Gesq	Ng•m²	NM•G	NM•m²	NF•G	NF•M	NF•Kg	NF•m²	PFT•m²	RDMT
Sitio	1	2.15 ^a	0.99 ^a	12.28 ^a	1.56 ^b	17.30 ^a	11.00 ^a	7.48 ^a	105.650 ^b	101.95 ^b	1009.5 ^a	863.4 ^a
	2	2.05 ^b	0.99 ^a	8.27 ^b	2.45 ^a	21.75 ^a	16.10 ^a	6.85 ^a	161.100 ^a	137.35 ^a	856.8 ^a	957.7 ^a
	DMS	0.05	0.02	1.18	0.59	4.77	6.30	1.96	15.806	33.621	278.69	243.35
Tratamiento	T1	2.14 ^a	0.98 ^a	8.33 ^c	1.55 ^a	14.40 ^a	15.40 ^a	13.09 ^a	126.20 ^a	107.80 ^a	1032.3 ^a	777.6 ^a
	T2	2.10 ^a	1.01 ^a	12.25 ^a	1.54 ^a	18.40 ^a	11.30 ^a	6.20 ^b	136.60 ^a	121.20 ^a	902.1 ^a	971.2 ^a
	T3	2.11 ^a	0.99 ^a	10.55 ^{ab}	2.21 ^a	22.73 ^a	13.30 ^a	4.28 ^b	139.40 ^a	124.20 ^a	872.9 ^a	989.3 ^a
	T4	2.04 ^a	0.97 ^a	9.96 ^{bc}	2.13 ^a	19.60 ^a	14.20 ^a	5.08 ^b	131.30 ^a	125.40 ^a	925.3 ^a	903.9 ^a
	DMS	0.11	0.04	2.21	1.05	8.42	11.85	3.68	29.696	63.163	523.58	457.18

Tratamientos: 1= 100% agua potable; 2= agua de coco al 50%; 3= agua de coco al 100%; 4= Megafol. APL: Altura de planta (m); Gesq: Grosor de esqueje (cm); Ng•m²: N° de guías•m²; NM•G: N° de macetas por guía; NM•m²: N° de macetas•m²; NF•G: N° de frutos por guía; NF•M: N° de frutos por maceta; NF•Kg: N° de frutos por kg; NF•m²: N° de frutos•m²; PFT•m²: Peso total de frutos•m²; RDMT: Rendimiento (g•m⁻²).

Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa Tukey (P ≤ 0.05).

Cuadro 1.7. Promedio de peso fresco y dimensiones de frutos de *Vanilla planifolia* evaluados con cuatro tratamientos en dos sitios en el vainillar de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Factor		Peso (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo • ancho (cm²)	Volumen (cm³)
Sitio	1	8.85 ^a	15.93 ^a	1.032 ^a	0.837 ^a	16.475 ^a	13.880 ^a
	2	6.89 ^b	14.71 ^b	0.946 ^b	0.756 ^b	13.921 ^b	10.557 ^b
	DMS	0.33	0.25	0.023	0.021	0.567	0.743
Tratamiento	T1	7.16 ^b	14.98 ^b	0.975 ^a	0.770 ^b	14.628 ^a	11.331 ^b
	T2	8.23 ^a	15.557 ^a	0.993 ^a	0.806 ^{ab}	15.510 ^a	12.619 ^{ab}
	T3	8.60 ^a	15.438 ^{ab}	1.007 ^a	0.810 ^a	15.578 ^a	12.770 ^a
	T4	7.48 ^b	15.315 ^{ab}	0.981 ^a	0.802 ^{ab}	15.075 ^a	12.155 ^{ab}
	DMS	0.62	0.483	0.044	0.039	1.058	1.387

Tratamientos: 1= 100% agua potable; 2= agua de coco al 50%; 3= agua de coco al 100%; 4= Megafol. Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa Tukey ($P \leq 0.05$).

Variables ambientales en el Sitio 1 y Sitio 2

Con el fin de analizar si los factores ambientales tuvieron una relación o efecto en las variables analizadas, en ambos sitios se realizó el monitoreo constante (cada hora) de la temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa (RFA) a partir de la floración, durante el desarrollo del fruto y hasta la cosecha del mismo (abril – noviembre).

En el Sitio 1 se encontró que tanto en la etapa de floración como en la de desarrollo del fruto, la temperatura de las 6:00 h se mantuvo entre 20-25°C, a las 10:00 h varió entre 25 -32°C, a las 14:00 h entre 28-40°C y a las 18:00 h entre 28-33°C, esto considerando los meses monitoreados. En la Figura 1.4, se observa que los meses con las temperaturas relativamente más bajas fueron abril y octubre, mientras que mayo fue el mes que registró los valores más altos de temperatura. En cuanto a la humedad relativa, durante todos los meses de evaluación, los horarios con los registros más bajos fueron a las 14:00 h y 18:00 h., mientras que los valores más altos se presentaron en horarios matutinos (6:00 y 10:00 h). Por otro lado, la RFA mostró valores relativamente bajos durante los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto, presentando un máximo de aproximadamente $70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en relación a los meses de septiembre y octubre que se obtuvieron valores de hasta $240 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

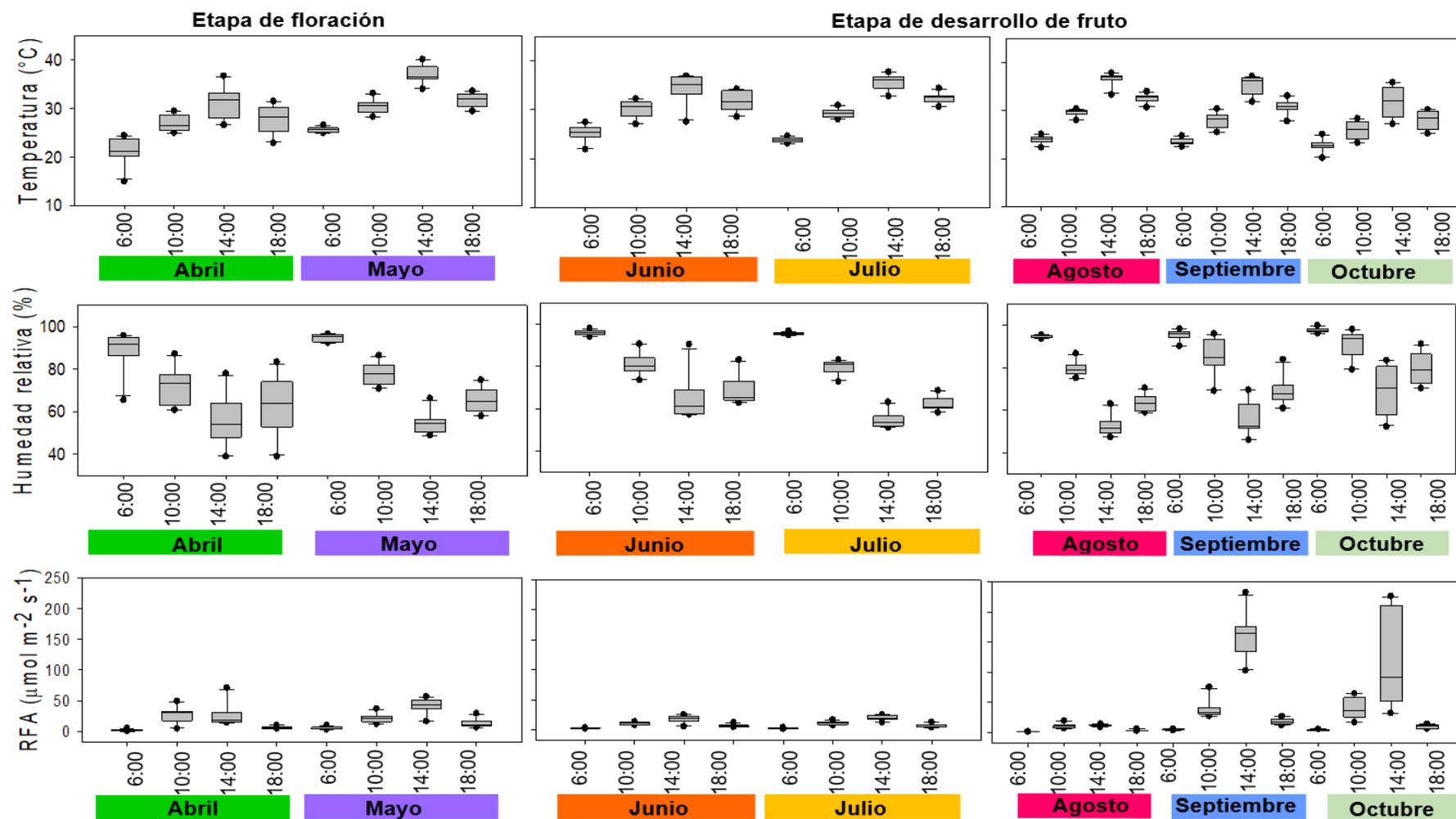


Figura 1.4. Variables ambientales de temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa (RFA) detectados durante el periodo de floración (abril y mayo) y de desarrollo del fruto de vainilla (junio-octubre) a las 06:00 h, 10:00 h, 14:00 h y 18:00 h en el Sitio 1 en el vainillar de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz. El primer y tercer cuartil representa la mayor distribución de los valores, mientras que el segundo cuartil indica la mediana de los valores. Los brazos representan los valores mínimos y máximos y los puntos externos los datos atípicos.

En el Sitio 2, se detectó que las temperaturas más bajas (18-27 °C) se presentan a las 6:00 h, mientras que las más altas (27-38°C) se tuvieron a las 14:00 h, por otro lado, en los horarios de 10:00 h y 18:00 p.m. se tienen temperaturas que no bajan por debajo de 25°C ni suben más de 35°C. En la Figura 1.5 se observa que los meses con las temperaturas más bajas fueron en abril y octubre, siendo los meses restantes analizados los que presentaron temperaturas más altas. En cuanto a la humedad relativa, es más baja a las 14:00 h y más alta a las 6:00 h durante ambas etapas analizadas. Por último, se tiene que la RFA es más intensa durante el periodo de las 10:00 h a las 14:00 h, donde las variaciones también llegan a ser más amplias (Figura 1.5).

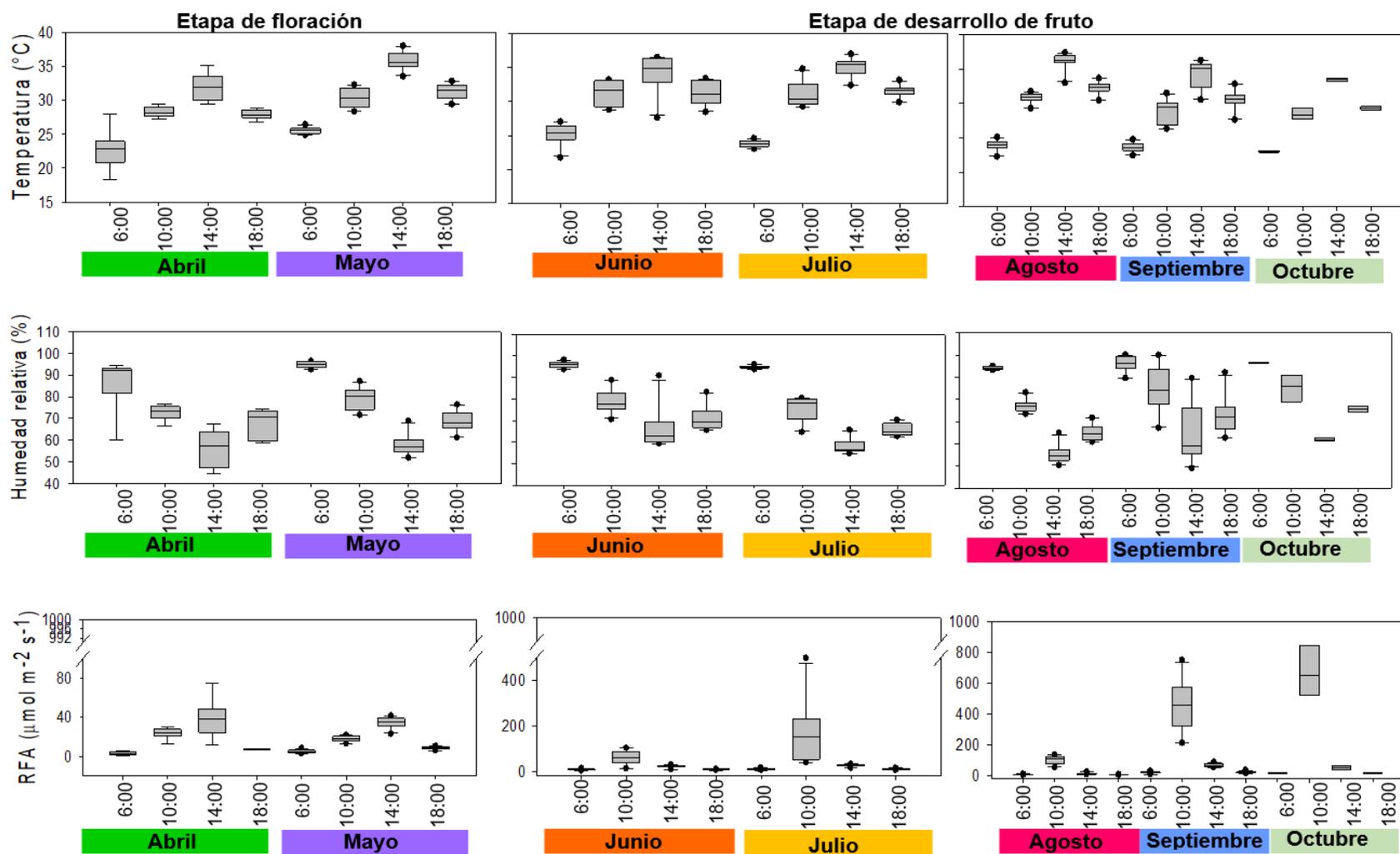


Figura 1.5 Variables ambientales de temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa (RFA) detectados durante el periodo de floración (abril y mayo) y de desarrollo del fruto de vainilla (junio-octubre) a las 06:00 am, 10:00 am, 14:00 pm y 18:00 pm en el Sitio 2 en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz. El primer y tercer cuartil representa la mayor distribución de los valores, mientras que el segundo cuartil indica la mediana de los valores. Los brazos representan los valores mínimos y máximos y los puntos externos los datos atípicos.

Relación entre variables ambientales y de componentes de rendimiento

A partir del análisis de correlaciones canónicas para el Sitio 1 (Cuadro 1.8), se encontró que existe correlación moderada (0.545 y $r^2 = 0.297$) entre las variables ambientales y de componentes de rendimiento. Por ejemplo, la correlación mayor se registró entre la humedad relativa – 10:00 h (-0.0041) y el número de guías $\cdot m^2$ (0.1734) y número de macetas por guía (0.0292). Al respecto se debe señalar que debido al cambio climático es cada vez más difícil saber cuáles serán las condiciones de precipitación y por lo tanto de agua disponible para los cultivos y por supuesto, entre ellos, la vainilla, es por ello que, para sobrellevar este tipo de adversidades, ciertas orquídeas tienden a realizar ajustes anatómicos y también fisiológicos tanto para mejorar el almacenaje de agua como para reducir la pérdida de la misma (Zhang *et al.*, 2018). En este sentido, los resultados obtenidos sugieren que aun en una condición de humedad relativa baja, la planta de vainilla hace uso de sus reservas para mantener su desarrollo, aunque sea por un periodo de tiempo.

En el análisis también se encontró una relación fuerte de la luminosidad a las 14:00 h (0.4336) y 6 p.m. (0.4568) con el peso (-0.1921), largo (-0.3180) y grosor (-0.1931), esta correlación se explica porque la fotosíntesis es la principal vía por la que las orquídeas adquieren carbono (Zhang *et al.*, 2015), siendo el carbono fijado fotosintéticamente, el responsable de aportar 90 – 95 % del peso seco de las plantas (Flore, 1984). Entonces entre más sea la luminosidad captada, más eficiente será el proceso de fotosíntesis en vainilla. En cuanto a la temperatura a las 18:00 h, esta se asocia débilmente con cualquiera de las variables analizadas, contrario a lo que mencionan López y Runkle (2005), quienes documentan la floración – y por lo tanto el número de frutos – está influida por la temperatura, en particular, temperaturas relativamente bajas ($\approx 25\text{ }^\circ\text{C}$) en el caso de las orquídeas.

En la Figura 1.6 se muestra que los primeros dos factores del análisis representan 86.33% de la varianza total. Asimismo, se aprecia la correlación estructural de las variables ambientales y de componentes de rendimiento, donde se representan gráficamente los resultados mencionados en el párrafo anterior.

Cuadro 1.8. Correlaciones canónicas entre variables ambientales y variables de componentes de rendimiento de *Vanilla planifolia* en el Sitio 1 Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Correlación de variables ambientales con variables canónicas de componentes de rendimiento	
Temperatura (°C) – 6 p.m.	-0.0177
Humedad relativa (%) – 10 a. m.	-0.0041
Luminosidad – 2 p. m.	0.4336
Luminosidad – 6 p. m.	0.4568
Correlación de variables de componentes de rendimientos con variables ambientales canónicas	
N° de macetas • guía	0.0292
Peso (g)	-0.1921
Largo (cm)	-0.3180
Grosor (cm)	-0.1931
N° de macetas • m ²	0.0067
N° de guías • m ²	0.1734
R ²	0.297
Correlación canónica	0.545

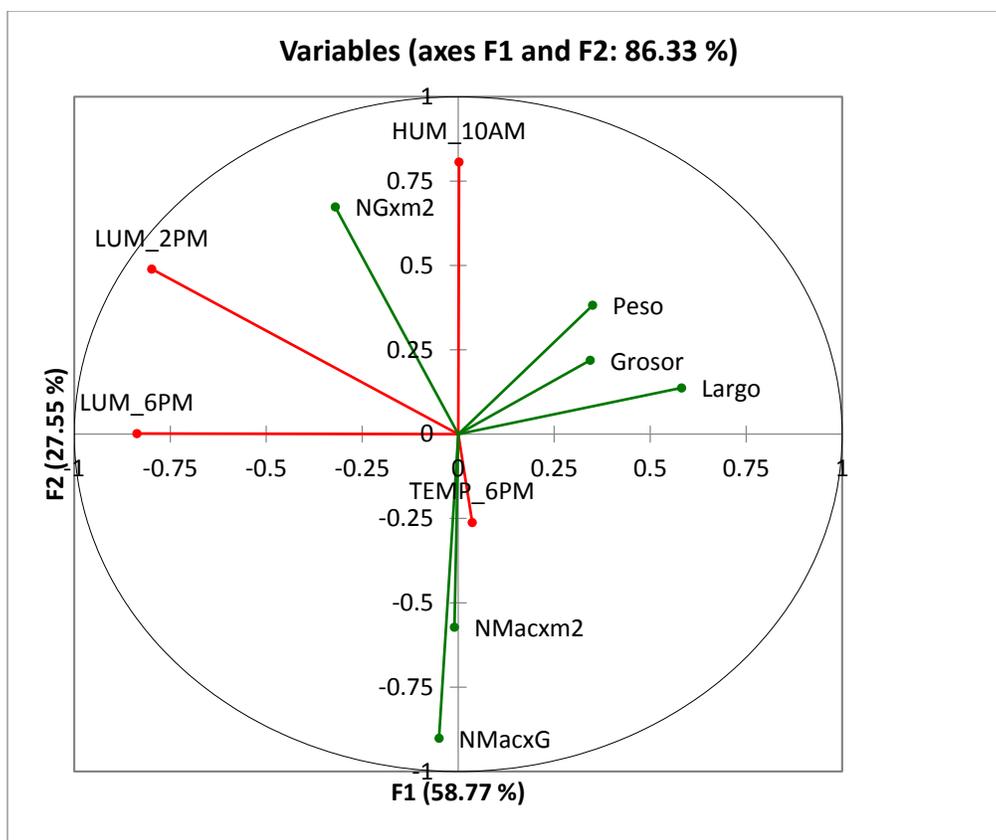


Figura 1.6. Relación entre variables ambientales (●) y variables de componentes de rendimiento (●) de *Vanilla planifolia* en el Sitio 1 de la localidad de Paso de Barriles, Veracruz.

El análisis de correlaciones canónicas para el Sitio 2 (Cuadro 1.9) indicó una correlación moderada (0.594 y $r^2 = 353$) entre las variables ambientales y de componentes de rendimiento. La luminosidad a las 2 p.m. (-0.4678) y a las 6 p.m. (-0.4191) tuvieron una alta correlación inversa con el peso del fruto (0.4089) y n° de guías $\cdot m^2$ (0.3065) y en menor medida con el grosor del fruto (0.0461). Esto posiblemente debido a que la vía de fotosíntesis de la vainilla (CAM), dónde el intercambio con el CO_2 comienza por la noche ya que es cuando se abren los estomas y este va aumentando en el transcurso de la misma (Rodrigues *et al.*, 2013), asimismo, la intensidad luminosa que están recibiendo la vainilla en este horario influye directamente en la capacidad que ésta tiene para la acumulación de la materia seca, pero no sólo depende de éste factor, también intervienen factores como el estado nutricional de la planta, la forma de crecimiento, edad y hábitat (Zhang *et al.*, 2018). La correlación más baja se detectó con la humedad relativa a las 10 a.m. (-0.1623) y el n° de macetas \cdot guía (0.0128) y n° de macetas $\cdot m^2$ (-0.0025). Para el Sitio 2, los dos

primeros factores del análisis representaron 90.32% de la varianza total, la correlación estructural de las variables ambientales y de componentes de rendimiento se representan en la Figura 1.7.

Cuadro 1.9. Correlaciones canónicas entre variables ambientales y variables de componentes de rendimiento de *Vanilla planifolia* en el Sitio 2 de la localidad de Paso de Barriles, Veracruz.

Correlación de variables ambientales con variables canónicas de componentes de rendimiento	
Temperatura (°C) – 6 p.m.	0.3130
Humedad relativa (%) – 10 a. m.	-0.1623
Luminosidad – 2 p. m.	-0.4678
Luminosidad – 6 p. m.	-0.4191
Correlación de variables de componentes de rendimientos con variables ambientales canónicas	
Nº de macetas • guía	0.0128
Peso (g)	0.4089
Largo (cm)	-0.0226
Grosor (cm)	0.0461
Nº de macetas • m ²	-0.0025
Nº de guías • m ²	0.3065
R ²	0.353
Correlación canónica	0.594

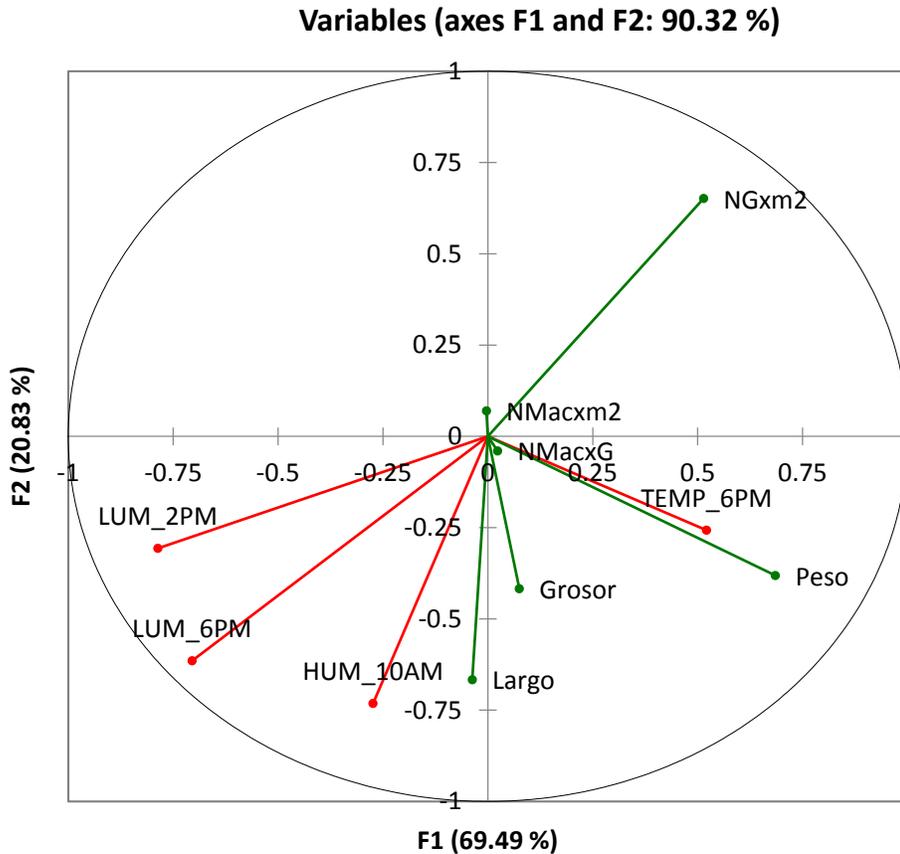


Figura 1.7. Relación entre variables ambientales (●) y variables de componentes de rendimiento (●) *Vanilla planifolia* en el Sitio 2 de la localidad de Paso de Barriles, Veracruz.

La vainilla es una planta sensible a la luminosidad, pero no a humedad ni temperatura, debido a su mecanismo de fotosíntesis para reducir al máximo su respiración con el tipo de metabolismo ácido de las crasuláceas, teniendo como consecuencia un mediano impacto sobre la cantidad de materia seca acumulada, ya que se deben tener en cuenta también factores como la nutrición, edad, hábitat y etapa de desarrollo de la planta.

1.4 CONCLUSIONES

En las variables de rendimiento y sus componentes el Sitio 1 tuvo en promedio los valores más altos en altura de planta y N° de guías por m², y en el Sitio 2 en el N° de macetas por guía, N° de macetas por m², N° de frutos por Kg y N° de frutos por m². Mientras que, por tratamiento, solo el control (T1) tuvo mayor N° de guías por m² y N° de frutos por maceta.

Las aplicaciones de agua de coco en vainilla mostraron un efecto significativamente mayor al control, dependiendo de la concentración de la solución, en las variables relacionadas con el peso y tamaño del fruto. Los tratamientos de 50 % (T2) y 100 % (T3) de agua de coco mostraron un efecto positivo en el peso fresco de los frutos que obtuvieron los valores más altos.

Los tratamientos de 50 % (T2) y 100 % (T3) de agua de coco y el Megafol (T4) tuvieron un efecto en el largo, grosor y volumen de los frutos. Especialmente el T2 mostró los frutos de mayor longitud respecto a los demás tratamientos, y el T3 tuvo los frutos de mayor grosor y volumen.

Respecto al efecto de las variables ambientales, en el Sitio 1, la luminosidad de las 14 y 18 h tuvo un efecto inverso en el peso, grosor y largo de los frutos. Mientras que en el Sitio 2, la temperatura de la tarde (6 pm) tuvo un efecto positivo sobre el peso y grosor del fruto.

1.5 LITERATURA CITADA

- Al-hasnawi, A. N. H. (2011). Effect of benzyladenine and chelated magnesium spraying on growth and flowering of *Chrysanthemum hortorum* Hort. M.Sc. Degree. Department of Horticulture and Landscape, College of Agriculture, University of Kufa, Iraq.
- Anadaraj, M., Rema, J., Sasikumar, B. y Suseela-Bhai, R. (2005). Vanilla. Indian Institute of Spices Research. Calicut, Kerala, India, 11p.
- Barrera-Rodríguez, A. I., Herrera-Cabrera, B. E., Jaramillo-Villanueva, J. L., Escobedo-Garrido, J. S. y 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: 199 – 212.
- Bautista-Zúñiga, F., Frausto-Martínez, O., Lhl, T. and Aguilar-Duarte, Y. (2010). El relieve. In: R. Durán and M. Méndez, ed., *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*, 1st ed. Yucatán, México, p.15.
- Buah, J. N. y Agu-Asare, P. (2014). Coconut water from fresh and dry fruits as an alternative to BAP in the in vitro culture of Dwarf Cavendish Banana. *Journal of Biological Sciences*, 14: 521 – 526.

- Canestraro, B. K., Moran, R. C., & Watkins, J. E. (2014). Reproductive and physiological ecology of climbing and terrestrial *Polybotrya* (Dryopteridaceae) at the La Selva Biological Station, Costa Rica. *International Journal of Plant Sciences*, 175(4), 432-441.
- Diez, M. C., Osorio, N. W. y Moreno, F. (2015). Effect of dose and type of fertilizer on flowering and fruiting of vanilla plants. *Journal of Plant Nutrition*, 39: 1297 – 1310.
- Espinoza-Pérez, J., Herrera-Cabrera, B. E., Zizumbo-Villarreal, D., Delgado-Alvarado A. y Salazar-Rojas, V. M. (2018). Perfil de productor por intensidad de manejo sobre vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) en la región Totonacapan, México. *Agroproductividad*, 11: 58 – 63.
- Flore, J. A. (1989). Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Horticultural reviews*. pp 112 – 146.
- González, M. L., Caycedo, C., Velásquez, M. F., Flórez, V. y Garzón, M. R. (2007). Efecto de la aplicación del ácido giberélico sobre el crecimiento de coliflor (*Brassica oleraceae* L.) var. Botrytis DC. *Agronomía Colombiana*, 25: 54-61.
- Google. (s.f.). [Mapa Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz, México en Google Maps]. Recuperado el 10 de abril, 2020, de: <https://www.google.com/maps/place/Paso+de+Barriles/@20.4436753,-97.1234286,11z/data=!4m6!3m5!1s0x0:0xc916b3a0735df2e8!4b1!8m2!3d20.4436753!4d-97.1234286>
- Havkin-Frenkel y Belanger. (2018). Mexican Vanilla Production. En *Handbook of Vanilla Science and Technology*. USA: Wiley Blackwell.
- Hernández-Hernández J. (2014). Técnicas implementadas para el cultivo de vainilla en México. Araya Fernández et al. (Presidencia). I *Seminario Internacional de Vainilla*. Promoviendo la investigación, extensión y producción de vainilla en Mesoamérica. CONICIT, Costa Rica.
- Hernández-Ruíz, J., Herrera-Cabrera, B.E., Delgado-Alvarado, A., Salazar-Rojas, V.M., Bustamante-González, A., Campos-Contreras J.E., & J. Ramírez-Juárez (2016). Distribución potencial y características geográficas de poblaciones silvestres de *Vanilla*

- planifolia* (Orchidaceae) en Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical / International Journal of Tropical Biology and Conservation* 64 (1): 235-246.
- INEGI. (2009). Gutiérrez Zamora, Veracruz de Ignacio de la Llave: Clave geoestadística 30069. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos.
- INEGI. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie II y III. En INEGI 2009.
- INIFAP. (2011). Paquete Tecnológico Vainilla (*Vanilla planifolia* Jackson) Establecimiento y mantenimiento. Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico Húmedo, 2011. Recuperado el 17 de septiembre del 2018 de Sitio web: http://edual.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/folleto_VAINILLA_establecimiento-mantto.pdf
- López, R. G. y Runkle, E. S. (2005). Environmental physiology of growth and flowering orchids. *Horticulture Science*, 40: 1969 – 1973.
- Menon, S., y Nayeem, N. (2013). *Vanilla Planifolia*: A review of a Plant Commonly Used as Flavouring Agent. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 20: 225-228.
- Minoo, D., Jayakumar, V. N., Veena, S. S., Vimala, J., Basha, A., Saji, K. V., Nirmal-Babu, K. y Peter, K. V. (2007). Genetic variations and interrelationships in *Vanilla planifolia* and few related species as expressed by RAPD polymorphism. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55: 459-470.
- Mushimiyimana, I., Assimwe, T., Dusabe, C., Gatunzi, F., Ndahimana, J., Ahishakiye, V., Kahia, J. y Gahakwa, D. (2011). In vitro propagation of *Vanilla* in Rwanda. *Rwanda Journal*, 24: 67 – 74.
- OCDE-FAO. (2013). OCDE-FAO Perspectivas agrícolas 2012-2021, Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo. P-66.
- Peixe, A., Raposo, A., Lourenco, R., Cardoso, H., Macedo, E. (2007). Coconut water and BAP successfully replaced zeatin in olive (*Olea europaea* L.) micropropagation. *Scientia Horticulturae*, 113: 1–7.
- Ranadive, A.S. (2005). *Vanilla* cultivation. En *Vanilla*. Proceedings of the First International Congress, organized by the Center for Flavor Education. Princeton, NJ, USA: 25-32

- Rocha-Flores, R. G., Herrera-Cabrera, B. E., Velasco-Velasco, J., SalazarRojas, V. M., Delgado-Alvarado A., 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: 9 – 14
- Rodrigues, M.A., Matiz, A., Cruz, A.B., Matsumura, A.T., Takahashi, C. A., Hamachi, L., Félix, L. M., Pereira, P. N., Latansio-Aidar, S. R., Marinho Aidar, M. P., Demarco, A., Freschi, L., Mercier, H. y Barbante Kerbauy, G. (2013). Spatial patterns of photosynthesis in thin- and thick-leaved epiphytic orchids: unravelling C3-CAM plasticity in an organ-compartmented way. *Annals of Botany*, 112: 17 – 29.
- Saldívar-Iglesias P. (2015). Cultivo de vainilla (*Vanilla planifolia* Jackson). Universidad Autónoma del Estado de México. Apuntes, pp: 5 – 6.
- Sandoval-Prando M. A., Chiavazza P., Faggio A. y Contessa C. (2014). Effect of coconut water and growth regulator supplements on in vitro propagation of *Corylus avellana* L. *Scientia Horticulturae*, 171: 91 – 94.
- SAS, Statistical Analysis System (2004) SAS/STAT User's Guide. Version 9.1, SAS Institute Inc, Cary, North Carolina, USA. 5136 p.
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). Rocas Sedimentarias. Gobierno de México.
- Soto-Arenas, M A. (2003). La vainilla: retos y perspectivas de su cultivo. CONABIO. *Biodiversitas* 66:1-9
- Soto-Arenas, M. A. y 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. *Lamkesteriana*, 9: 285-354.
- Soto-Arenas, M. A. y Solano-Gómez, A. R. (2007). Ficha técnica de *Vanilla planifolia*. In: M. A. Soto-Arenas (compilador). Información actualizada sobre las especies de orquídeas PROY-NOM-059-ECOL2000. Instituto Chinoin A.C., Herbario de la Asociación Mexicana de Orquideología A.C. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W029. México. D.F..
- Soto-Arenas, M. A. (1999). Filogeografía y recursos genéticos de las vainillas de México. Instituto Chinoin AC. Informe Final SNIB-CONABIO, Proyecto J101.

- Umamaheswari, R., y Mohanan, K. V. (2011). A Study of the Association of Agronomic Characters in *Vanilla planifolia* Andrews. International Journal of Plant Breeding and Genetics, 1 – 6.
- Yong, J. W. H., Ge, L., Ng, W. F. y Tan, S. N. (2009). The chemical composition and biological properties of coconut (*Cocos nucifera* L.) water. Molecules, 14: 5144 – 5164.
- Zhang, S., Yang, Y., Jiawei, L., Qin, J., Zhang, W., Huang, W. y Hu, H. (2018). Physiological diversity of orchids. Plant Diversity, 40: 196 – 208.
- Zhang, S.B., Chen, W.Y., Huang, J.L., Bi, Y. F. y Yan, X.F. (2015). Orchid species richness along elevational and environmental gradients in Yunnan, China. PLOS One 10: 1- 23.

CAPÍTULO II. EFECTO DEL AGUA DE COCO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS FRUTOS DE VAINILLA (*Vanilla planifolia*)

RESUMEN

El trabajo tuvo como objetivo analizar el efecto de la aspersión de agua de coco en las características físicas y químicas de los frutos de vainilla, en dos sitios dentro de un vainillar en malla-sombra. Durante el periodo de la floración, a las flores y frutos se les aplicaron cada dos semanas durante tres meses, cuatro tratamientos (T1) (control): 100% agua potable, (T2): 50% agua potable-50% agua de coco, (T3): 100% agua de coco y (T4): Megafol® (bioestimulante comercial). Se evaluaron características físicas (parámetros de color, materia seca, cenizas y peso) y químicas [azúcares, almidón, clorofilas, carotenoides, compuestos fenólicos totales (CFT) y flavonoides]. Los frutos verdes y beneficiados del sitio 1 presentaron una mayor luminosidad, índice de color (IC) y peso. Mientras que los frutos verdes del sitio 2 tuvieron una mayor acumulación de azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa y almidón). En CFT y flavonoides, tanto los frutos verdes como los beneficiados presentaron porcentajes significativamente más altos en los frutos del sitio 1. Dichas diferencias entre sitios pueden deberse a que la aspersión de los frutos en el sitio 2 se realizó dos semanas después del inicio de la floración. Los frutos verdes del T2, T3 y T4 mostraron una menor luminosidad e intensidad de color en relación con el T1. Los frutos asperjados del T2 y T3 presentaron pesos significativamente mayores en frutos verdes (8.23 y 8.61 g) y en beneficiados (1.62 y 1.43 g) respecto al T1 y T4. Los frutos verdes del T2 presentaron la acumulación más alta de fructosa (4.98 %) y sacarosa (0.77 %). En los frutos beneficiados el T1 y T4 presentaron la mayor acumulación de AST, glucosa y fructosa, en CFT no mostraron diferencia entre tratamientos. Aunque se encontraron resultados positivos en el peso de los frutos y en la acumulación de azúcares con la aplicación de agua de coco se sugiere se investigue el efecto en los precursores y componentes del aroma de la vainilla, y su aplicación en distintos ambientes para saber si este tipo de tecnología es aplicable en los diferentes puntos de producción de vainilla en México.

Palabras clave: frutos verdes y beneficiados, nutrición, vainilla.

2. 1 INTRODUCCIÓN

En el cultivo de la vainilla, las condiciones óptimas de nutrición en el suelo son vitales para su desarrollo, por lo que, en la etapa de instalación del cultivo, de ser necesario, se aplican fertilizantes orgánicos en la base del tutor (de 2 a 3 Kg de materia orgánica), y proveer a la planta de una buena aeración, drenaje y nutrientes básicos (nitrógeno, fosforo y calcio). La aplicación de materia orgánica debe realizarse continuamente durante la vida de la planta – aproximadamente 5 años – por lo menos dos veces al año (Varela-Quirós, 2019).

México, es el centro de origen con un alto potencial debido a la diversidad genética. Sin embargo, la producción de vainilla se ve limitada debido a la incidencia de: plagas y enfermedades, caída prematura de fruto, falta de conocimiento acerca de la transformación del producto para darle valor agregado y nutrición deficiente o nula (SAGARPA, 2012). La utilización primordialmente de un tipo de nutrición orgánica bajo manejo tradicional en los vainillales, hace necesario un sistema de manejo que estandarice variables como la cantidad y la calidad de la materia orgánica que se debe incorporar (González-Chávez *et al.*, 2018). Lo cual apunta que lograr una nutrición adecuada es uno de los principales desafíos en cuanto al establecimiento y mantenimiento de los cultivos de vainilla (Carrillo-González y González-Chávez, 2018).

Diversas características de la vainilla pueden verse afectadas de manera positiva si la nutrición en el cultivo es la correcta, por ejemplo, el número de inflorescencias, brote de flores, número de frutos y tamaño de frutos (Diez *et al.*, 2016). Al respecto Osorio *et al.* (2014) señalan que según el tipo de fertilizantes que se utilice para el manejo de los cultivos de vainilla, se tendrá un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas. Sin embargo, no se han encontrado estudios dónde se evalúe la respuesta de acumulación de metabolitos primarios y secundarios en los frutos ante la aplicación de fertilizantes orgánicos.

Por otro lado, en años recientes, el cultivo intensivo ha provocado el desgaste de los suelos lo que ha incrementado el uso de fertilizantes químicos (Ochoa-Espinosa *et al.*, 2018). Debido a lo anterior, y a la necesidad de realizar acciones en pro de la sustentabilidad ambiental, han surgido alternativas de fertilizantes orgánicos con los que se han obtenido mejores resultados, en relación con aquellos que son de origen químico. Entre algunos de los caracteres y cultivos con los que se han obtenido resultados positivos están: mejorar el rendimiento de chile piquín (Márquez-Quiroz

et al., 2013); colonización micorrízica y rendimiento de maíz (Álvarez-Solís *et al.*, 2010) mayor producción de biomasa, menor mortalidad, y mayor resistencia foliar en plantas de tomate verde (Cruz-Koizumi *et al.*, 2017). Por lo anterior, en este estudio se propone la aplicación de agua de coco a diferentes concentraciones a fin de incorporar nutrientes a la planta y mejorar la calidad en los frutos de vainilla.

Se tienen registros de que las auxinas juegan un papel de vital importancia para que el óvulo pueda ser fecundado y se desarrolle correctamente (Wang *et al.*, 2009; Domingos *et al.*, 2016; Hernández-Miranda, 2020), se ha demostrado que la auxina es un regulador de crecimiento que está presente en el agua de coco (Millán y Márquez, 2014). La respuesta se atribuye al alto contenido de citocininas, que son fitohormonas contenidas en el agua de coco, conocidas por jugar un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Ge *et al.*, 2006). Se ha registrado que utilizar el agua de coco como fertilizante conlleva efectos positivos sobre el desarrollo de las plantas y variables químicas en *Coleus Blumei* (Alabdaly y Alkhalidy, 2016) y *chlorella pyrenoidosa* (Ohoiulun *et al.*, 2014).

En este sentido, el objetivo del estudio fue determinar el efecto de la aplicación de una solución nutritiva con agua de coco en la planta de vainilla durante el periodo de floración, sobre las características físicas y de componentes químicos de los frutos de vainilla (*Vanilla planifolia*), comparado con la aplicación de un bioestimulante de crecimiento comercial y un control, a fin de mejorar la calidad física y de componentes químicos del aroma de los frutos verdes y beneficiados de esta especie.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Durante el período de floración (abril a mayo) se identificaron y polinizaron manualmente todas las flores de 40 plantas por sitio de estudio, fueron dos sitios de estudio dentro del vainillal. Después de la aplicación de los tratamientos con la solución de agua de coco y un control, a las 30 semanas de la polinización se recolectaron 24 frutos de cada tratamiento, de los cuales 12 se analizaron en verde y 12 se analizaron después del beneficio tradicional.

Tratamientos aplicados

El experimento consistió en la aplicación de cuatro tratamientos con 10 repeticiones, cada uno, cada repetición consistió en una planta, localizada en 0.6 metro lineal de plantas (10 plantas por tratamiento). En el tratamiento 1 (T1) las plantas se asperjaron con agua potable al 100 %; el segundo tratamiento (T2) consistió en asperjar las plantas con una solución de agua de coco al 50 %; en el tercer tratamiento (T3), las plantas se asperjaron con 100 % agua de coco y en el cuarto tratamiento (T4), las plantas se asperjaron con un bioestimulante, MEGAFOL® (Valagro) en la dosis recomendada por el fabricante (3 mL/L). La aspersión por cada aplicación se realizó con un volumen de 400 mL para cada tratamiento, por las mañanas de 9 a 10 am a las dos semanas del inicio del periodo de floración, y cada dos semanas durante tres meses, realizando un total de 6 aplicaciones. La representación de la orientación y distribución de los tratamientos (T1, T2, T3 y T4) en cada sitio de cultivo dentro del vainillal quedaron ubicados como se muestra en la Figura 2.1.

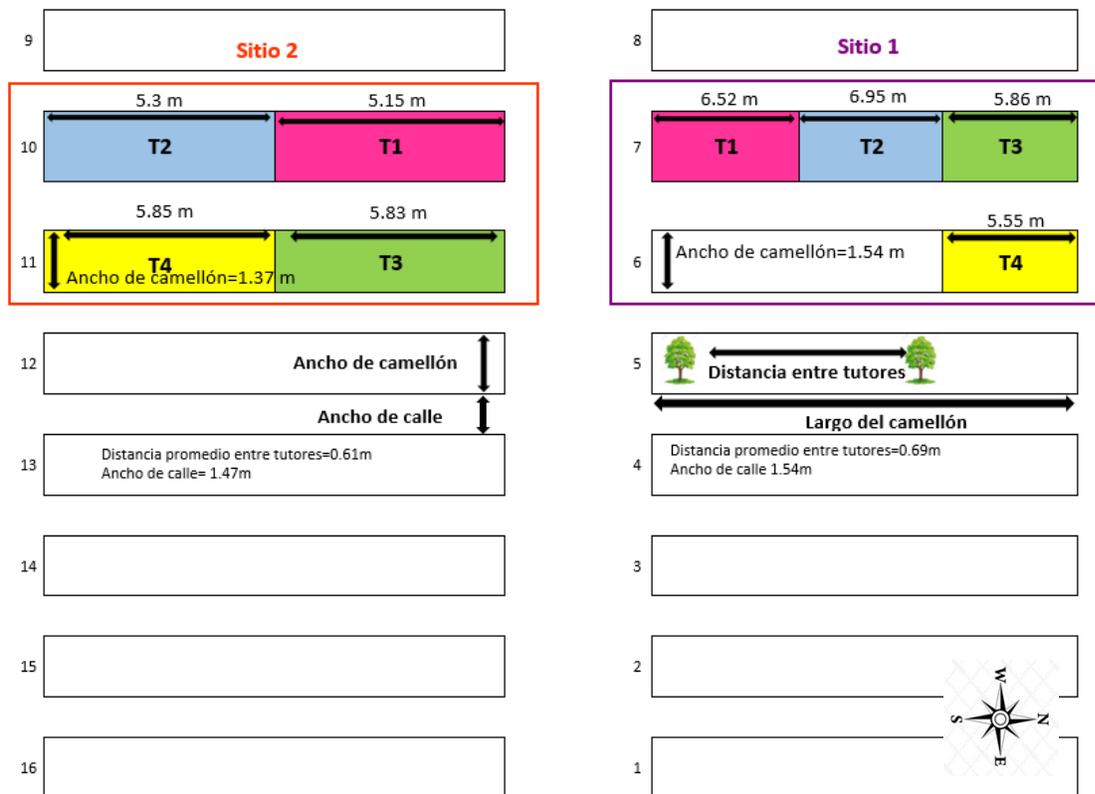


Figura 2.1. Representación esquemática de la ubicación del Sitio 1 y Sitio 2 en el vainillal de estudio, y la ubicación de los tratamientos dentro del sitio, en la localidad de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Análisis del agua de coco

El agua de coco se obtuvo de cocos tiernos cortados un día antes de la aplicación de los tratamientos. Con el fin de conocer su composición, una muestra del agua se mantuvo en refrigeración a 4 °C y otra muestra se liofilizó, con la intención de conocer si el método de conservación afectaba su composición. Las variables evaluadas fueron: azúcares solubles totales, fitohormonas (Ácido 3-indolacético, ácido 3-indolbutírico, ácido abscísico, ácido giberélico, cinetina, trans-zeatina y zeatina), cenizas, sólidos volátiles y contenido de minerales.

Liofilización de agua de coco

Para la liofilización del agua de coco se utilizaron cajas Petri, para que el tiempo de liofilizado fuera menor y el proceso más eficiente, se registró el peso de las cajas y posteriormente se adicionaron el equivalente en peso a 10 mL del agua de coco. Lo que representó en masa aproximadamente 9.7 g, después las cajas Petri con las muestras se llevaron a pre-congelamiento a -55 °C durante al menos 24 h. Una vez que las muestras pasaron por la etapa de pre-congelación, se establecieron las condiciones de la liofilización del equipo, que consistieron de -81 °C en el colector y una presión de 1.64 mBar, bajo estas condiciones las muestras se mantuvieron durante 24-26 h, y después se registró el peso de las mismas. Las muestras liofilizadas se mantuvieron a -20 °C hasta su análisis.

Cuantificación de azúcares solubles totales

Los azúcares solubles totales se cuantificaron con el método de Antrona. Con la diferencia de que en el caso del agua de coco en estado natural se realizó una dilución 1:10 y para el agua de coco liofilizada se realizó una dilución de 1:100, para que los resultados de las muestras entraran dentro de la curva de calibración.

Cuantificación de reguladores de crecimiento

Se cuantificaron los siguientes reguladores de crecimiento: ácido 3-indolacético, ácido 3-indolbutírico, ácido abscísico, ácido giberélico, cinetina, trans-zeatina y zeatina presentes en el agua de coco por HPLC (Xiangging *et al.* 2010) con algunas modificaciones. En un tubo de 2 mL se pesaron 50 mg de material liofilizado o de agua de coco en estado natural, a cada tubo se

añadieron 500 μL de solución de extracción [2-propanol: agua: HCl concentrado (2:1:0.002, v:v:v)], después los tubos se agitaron a una velocidad de 100 rpm por 30 min a 4 °C, enseguida a cada muestra se adicionó 1 mL de diclorometano y se agitó por 30 min a 4 °C. Posteriormente, las muestras se centrifugaron en una microcentrífuga refrigerada a 4 °C y se centrifugaron 5 min a 13000 g, con una pipeta Pasteur se transfirió a otro vial alrededor de 900 μL del solvente de la fase orgánica, y la mezcla se concentró con una corriente de nitrógeno (sin llegar a desecar completamente). Por último, se añadieron 0.5 mL de metanol y se inyectaron 50 μL de cada muestra en el HPLC. El equipo de cromatografía líquida de alta eficiencia utilizado fue de la marca Agilent Technologies *1200 Infinity series* integrado con espectro de UV/ Vis y columna (Rx/SB-C8 de rápida resolución de 4.6 x 75 mm). La fase móvil fue la mezcla de las soluciones A y B (80:20). La solución A contenía 0.1 % de ácido trifluoracético en agua (80 %) y la solución B contenía 0.1 % de ácido trifluoracético en acetonitrilo (20%). Ambas soluciones se filtraron.

El flujo de la fase móvil fue de 2 mL min^{-1} , la temperatura de la corrida fue de 60 °C y el tiempo de corrida de 14.28 min. Se consideraron 100 μL como volumen de inyección de cada muestra por triplicado., Las lecturas se hicieron en tres longitudes de onda, 206 nm para giberelinas, 254 nm para auxinas y ácido abscísico y a 280 nm para citocininas.

Cuantificación de minerales

El análisis de elementos minerales en el agua de coco se realizó en las muestras liofilizadas, en el laboratorio de Química de Suelos del Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Cenizas y sólidos volátiles

Se pesaron 15 mL de agua de coco en crisoles previamente tarados. Enseguida se pusieron en una parrilla convencional para llevarlos a una temperatura de entre 50-60 °C hasta reducir el volumen total aproximadamente un tercio del total agregado en el inicio. Posteriormente se incrementó la temperatura hasta que la muestra alcanzó 105 °C y se mantuvo a esta temperatura durante 2 h, transcurrido este tiempo las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente, y se registró el peso. Después de esto los crisoles se llevaron a la mufla a 450 °C por 4 h y se dejaron enfriar completamente a temperatura ambiente.

Para el cálculo de los sólidos volátiles se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos volátiles} = P1 - P2 \quad \text{Ecuación 1}$$

En cuanto al cálculo de las cenizas se sigue el mismo procedimiento utilizado con la ecuación 4.

Descripción y composición de Megafol

El Megafol (Valagro®) compuesto de 9 % de carbono orgánico, 8 % de carbono orgánico, 3 % de nitrógeno total y 1 % de nitrógeno orgánico Dentro de sus propiedades está la activación genética que actúa sobre el crecimiento de las plantas, optimizando el desarrollo vegetativo y así la productividad de los cultivos en condiciones óptimas, normales o en situaciones de estrés. Uno de los principales roles de los componentes del Megafol está relacionado con la activación de la fotosíntesis, funciones metabólicas y estructurales de las plantas. La composición de este producto es.

Análisis físicos de frutos de vainilla

Peso y tamaño de frutos

El peso de 12 frutos (verdes y beneficiados) por tratamiento se registró en una balanza analítica (marca A&D) con una precisión de 0.01 g. Los largos de los frutos se midieron con una cinta métrica, mientras que el ancho y el grosor se registraron con un vernier digital (Digimatic Caliper Mitutoyo/ZEROABS).

Humedad

El porcentaje de humedad de los frutos (verdes y beneficiados) se determinó con doce repeticiones para cada uno de los tratamientos mediante una termobalanza (OHAUS, MB45).

Color (L^* , ángulo hue)

El color se midió con un colorímetro (Hunterlab, ColorFlex-45, VA, EUA). Se utilizaron 12 frutos completos por tratamiento, y se hicieron tres mediciones en cada fruto, para un total de 36 repeticiones por cada tratamiento (Francis y Clydesdale 1975; McLaren 1976). El color se expresó como L, Hue y Croma. Con los valores de a^* y b^* se calculó el ángulo Hue (h°) (ecuación 2) y el de Croma (ecuación 3), mediante las siguientes ecuaciones:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$Croma = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Cenizas

Se pesaron 0.5 g de muestra liofilizada en crisoles de porcelana. Se consideraron seis repeticiones por tratamiento. El porcentaje de cenizas se determinó mediante la norma NMX-F-066-S-1978. Se pesaron de 3 a 5 g de los frutos verdes en crisoles de porcelana previamente tarados, se colocaron en una parrilla y se quemaron lentamente hasta que ya no hubo desprendimiento de humo. Posteriormente se calcinaron en una mufla a 550 °C por 5 h. Después de la calcinación, los crisoles se pasaron a un desecador y se pesaron para su cuantificación mediante los siguientes cálculos:

Cálculo y expresión de resultados

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P - p) * 100}{M} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

P = Peso del crisol con las cenizas en gramos.

p = Peso del crisol vacío en gramos.

M = Peso de la muestra en gramos.

Análisis químicos de frutos de vainilla

Para la conservación y posterior análisis de componentes químicos de los frutos verdes de vainilla, los frutos de cada repetición se cortaron en pedazos pequeños (0.5 cm² aproximadamente), se introdujeron en bolsas pequeñas de tela pellón y se congelaron a -50 °C por 48 h. Posteriormente se colocaron en una liofilizadora con sistema de liofilización FreeZone® Triad (Labconco, catálogo 7400040, E.U.A.). La temperatura del colector fue de -80 °C, la presión de vacío se mantuvo en 0.220 mbar, el procesamiento fue con dos ciclos cada uno con una duración aproximada de 4h hasta tener una humedad entre 5-8 %. Posteriormente las muestras se molieron en un molino de granos (KRUPS, GX4100, E.U.A.), y se tamizaron a 420 µm. El polvo se almacenó en frascos ámbar en refrigeración a 4 °C hasta su análisis.

Azúcares solubles totales (AST)

Se determinaron por el método colorimétrico de antrona, basado en Montreuil *et al.* (1997) con modificaciones para un micro-método. Se pesaron 50 mg de cada muestra, se les adicionó 3 mL de metanol al 80 % (v/v) y se llevaron a baño María a 80 °C durante 10 min, este paso se repitió cinco veces sucesivamente y los extractos obtenidos se conjuntaron en un frasco y se colocaron en una estufa a 60 °C por 24 h hasta sequedad del extracto. Posteriormente el extracto se re-suspendió en 2 mL de agua destilada.

Para el análisis de las muestras se realizaron diluciones 1:40 con la finalidad de que las concentraciones obtenidas estuvieran en el rango de la curva de calibración realizada con glucosa. A 600 µL de los extractos diluidos se les adicionó 600 µL de agua destilada y 3 mL de antrona, que se colocaron en hielo por 5 min para después transferirlos a baño maría por 10 min. Finalmente, antes de la lectura se colocaron los extractos nuevamente en hielo por 5 min. Así la determinación de azúcares solubles totales se hizo en un espectrofotómetro (UV/VIS) (Evolution 300, Thermo Scientific) a una absorbancia de 625 nm. El contenido de azúcares solubles totales se expresó en $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de MS (Materia seca).

Cuantificación de azúcares reductores

La glucosa, fructosa y sacarosa se cuantificaron a partir de los extractos preparados para AST de frutos verdes y beneficiados, de manera enzimática por la adición secuencial de hexocinasa, fosfoglucosa-isomerasa e invertasa, mediante curvas estándares de calibración preparadas previamente de acuerdo a Scholes *et al.* (1994). Las diluciones que se realizaron en los frutos tanto verdes como beneficiados fueron de 1:10. Para cada estándar de glucosa, fructosa y sacarosa se hizo una solución stock con 15 mg de cada azúcar que se disolvieron en 6 mL de agua destilada para tener una concentración de $2.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$. De esta solución se colocaron 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 µL en tubos eppendorf, que se aforaron a 1000 µL con agua destilada. Para obtener las concentraciones de 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225 y 250 µg.

Para los ensayos se aplicaron 200 µL amortiguador HEPES 100 mM con pH 7.5 (SIGMA, catálogo H3375), 10 µL de NAD 40 mM (SIGMA, catálogo N7004), 10 µL de ATP 100 mM pH 7 (SIGMA, catálogo A2383), 10 µL de glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (ROCHE, en una concentración de 0.05 U/µL) y por último 10 µL del extracto. Para la determinación de glucosa se adicionaron 10 µL de hexocinasa (0.05 U/µL de amortiguador HEPES) y se dejó actuar durante 20 min antes de

hacer la lectura. La fructosa se determinó agregando 10 μL de fosfoglucoasa isomerasa (0.06 U/ μL de amortiguador HEPES) y a los 20 min se registró la lectura. Por último, la determinación de la sacarosa se realizó mediante la adición de 10 μL de invertasa (SIGMA I4504, concentración 0.8 U/ μL), después de 20 min de reposo se realizó la lectura. Todas las lecturas se realizaron en un lector de microplacas Varioskan Flash, (Thermo Scientific) a 340 nm. Los cálculos se realizaron mediante curvas estándares de calibración preparadas previamente para cada uno de los azúcares y se expresaron en $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de materia seca.

Cuantificación de almidón

Una vez extraídos los azúcares solubles de los frutos verdes y beneficiados, cada uno de los residuos sólidos se congelaron ($-20 \text{ }^\circ\text{C}$) y posteriormente se utilizaron para la determinación del contenido de almidón a través de la medición de glucosa.

Se pesaron 200 mg de residuos sólidos y se molieron por separado en un mortero, se le adicionó 1 mL de agua destilada y se colocó en tubos eppendorf con tapa de doble seguridad, los cuales se metieron a la autoclave durante 30 min a una temperatura de $121 \text{ }^\circ\text{C}$; para la digestión del almidón se tomó una alícuota de 100 μL de la muestra, a la que se le adicionó 100 μL del amortiguador MES 500 mM con pH 4.5 (Sigma M3671), 50 μL de α -amilasa (SIGMA, catálogo 10115; 0.5 U/ μL de amortiguador MES) y 50 μL de amiloglucósidas (SIGMA catálogo A0273; 0.28 U/ μL), se mezclaron en vortex para homogenizar la muestra y enseguida se mantuvieron en incubación a $37 \text{ }^\circ\text{C}$ por 4.5 h.

Una vez que la digestión del almidón se realizó, se procedió a la cuantificación mediante el método enzimático para azúcares reductores hasta la etapa de la incorporación de hexocinasa, para así dejar reposar por 20 min y hacer la lectura a 340 nm en un lector de microplacas Varioskan Flash (Thermo Scientific).

Cuantificación del contenido de pigmentos fotosintéticos

Para esta determinación se utilizaron frutos verdes frescos, con seis repeticiones por tratamientos para cada uno de los sitios evaluados en este estudio. Se utilizó 0.5 g de tejido de la parte media del fruto que se maceró en un mortero frío con 0.1 g de cloruro de magnesio (J.T. Baker, catálogo 2444-01), 0.2 g de arena de mar purificada (J.T. Baker, catálogo 3382-01) y 5 mL de acetona (J.T. Baker, catálogo 67-64-1) fría al 80 % (v/v). Posteriormente, la mezcla se centrifugó durante 5 min a 2350 g a $5 \text{ }^\circ\text{C}$. El sobrenadante se llevó a 5 mL con acetona al 80 %. La absorbancia se determinó

a 470, 646 y 663 nm en un espectrofotómetro UV-visible (Evolution 300, Thermo). La concentración de clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), xantofilas y carotenoides (*x+c*) se determinó en mg·g⁻¹ de materia fresca de acuerdo a las ecuaciones propuestas por Lichtenthaler y Wellburn (1983) y se expresó en porcentaje en base seca:

$$Cl_a = 12.21 A_{663} - 2.81 A_{646} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$Cl_b = 20.13 A_{646} - 5.03 A_{663} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$C_{x+c} = \frac{1000 A_{470} - 3.27 Cl_a - 107 Cl_b}{229} \quad \text{Ecuación 7}$$

Compuestos fenólicos totales

De los frutos frescos se prepararon extractos en metanol a una concentración de 50 mg/mL (p/v). Las muestras se colocaron en un baño ultrasónico (AutoScience AS5150B) por un tiempo de 30 min y se maceraron por 24 h a temperatura ambiente. Posteriormente, los extractos se filtraron y almacenaron en viales de vidrio bajo condiciones de congelación (-20 °C) hasta el momento de su uso.

La cuantificación de compuestos fenólicos totales se realizó mediante el método descrito por Singleton y Rossi (1965), con algunas modificaciones. A 50 µL del extracto se agregarán 250 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu al 50 % (v/v), se dejó reposar en obscuridad durante 8 min. Posteriormente, se adicionaron 1.25 mL de carbonato de sodio al 5 % y nuevamente se dejó reposar por 30 min en obscuridad a temperatura ambiente. La lectura de absorbancia de la mezcla se realizó a 725 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Evolution 300, Thermo Scientific). Para la curva estándar se utilizó el ácido gálico (Sigma, G7384) diluido en agua. La curva de calibración se preparó en un rango de 0-200 µg mL⁻¹, valores que generaron la siguiente ecuación de la recta y = 0.007x+0.0035 (R² =0.9993). Los resultados se expresaron en g·100 g⁻¹ MS.

Cuantificación de flavonoides

Esta determinación se realizó de acuerdo a Herald *et al.* (2012) con pequeñas modificaciones. El ensayo se inició con una mezcla de 25 µL de muestra o estándar, 100 µL de agua desionizada y 10 µL de nitrito de sodio (NaNO₂) al 5 %, que se dejó reposar por 5 min a temperatura ambiente. Después se añadieron 15 µL de cloruro de aluminio al 10 % (AlCl₃, disuelto en metanol), se mezcló la solución y se dejó reposar por 6 min. Pasado el tiempo se le adicionaron 50 µL de hidróxido de

sodio 1 M y 50 μL de agua desionizada. Es muy importante mencionar que entre cada reactivo agregado las muestras se agitaron por 1 min y en el último agregado se dejaron reposar por 5 min, para después realizar la lectura a 415 nm en un lector de microplacas Varioskan Flash (Thermo Scientific). Todas las muestras y el estándar fueron medidos contra el blanco (mezcla de los reactivos y disolventes usados en el análisis, pero sin el analito, en lugar de este se utilizó agua). La quercetina (Sigma, Q4951) diluida en etanol absoluto (J.T. Baker, 9000-03) se utilizó como estándar a diferentes concentraciones de 0 – 550 $\mu\text{g mL}^{-1}$, con la que se obtuvo la ecuación de la recta $y = 0.0017x + 0.1$ ($R^2 = 0.9986$). Las muestras se analizaron con 6 repeticiones y 3 réplicas por repetición, los resultados se expresaron como mg de equivalente de quercetina por gramo de materia seca ($\text{mg EQ g}^{-1} \text{MS}$).

Análisis estadísticos

Se realizó análisis de varianza (ANOVA) dentro y entre sitios, para cada uno de los caracteres cuantificados, bajo el diseño de bloques completamente al azar (PROC GLM), con el software estadístico SAS (SAS, 2004). La comparación de medias en los sitios se calculó con base en la media armónica (n), mediante la prueba de Tukey para todas las variables.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición del agua de coco

La composición y concentración de los componentes del agua de coco varió para algunas de las variables analizadas según la técnica de procesamiento, como a continuación se describe para cada variable estudiada.

Cuantificación de azúcares solubles totales (AST)

El porcentaje de AST en el agua de coco en promedio fue de 53.13 % (Cuadro 2.1), aunque este resultado varió según el método de procesamiento de la muestra, ya que el agua en estado natural tuvo 7.59 % mientras que el agua de coco liofilizada obtuvo 98.66 % (Cuadro 2.2), esta diferencia es debida a que el agua de coco liofilizada al perder la mayor parte de agua los restos que se obtuvieron fueron en su mayoría azúcar y no así con el agua en estado natural. En promedio, estos resultados coinciden con lo reportado por Santos *et al.* (2013), quienes señalan que el agua de coco contiene una gran cantidad de azúcares.

Cuantificación de reguladores de crecimiento

Los reguladores de crecimiento son algunos de los componentes por los que el agua de coco es estudiada y también utilizada en diversos estudios para evaluar su efecto sobre: *Corylus avellana* L. (Sandoval-Prando, 2014); *Dracaena purplecompacta* L. (Agampodi y Jayawardena, 2009); olivo (Vieira de Souza *et al.*, 2013) y papa (Michael, 2011), por mencionar algunos. El análisis de varianza mostró que en promedio la cantidad de zeatina fue de 51.12 % en el agua de los cocos estudiados (Cuadro 2.1), aunque el agua de coco fresco presentó un contenido mayor (58.64 %) respecto al agua de coco liofilizada (40.73 %) (Cuadro 2.2). Mientras que la trans-zeatina presentó un contenido más alto en el agua liofilizada (2.55 %) respecto al agua fresca (1.24 %). Cabe mencionar que la cinetina solo se detectó en el agua liofilizada con un contenido de 2.18 % (Cuadro 2.2). La cinetina pertenece a las citocininas que son conocidas su papel en el desarrollo de las plantas, como en la división celular, dominancia apical, desarrollo de los brotes y la fotosíntesis entre otros (Ge *et al.*, 2006). El rol de este tipo de fitohormonas es de orden tal que llegan a controlar la respuesta de la planta ante efectos adversos, inclusive del clima (Schäfer *et al.*, 2015).

Cenizas y sólidos volátiles

Con el objetivo de determinar la cantidad total de minerales en el agua de coco se realizó la cuantificación de cenizas presente en la misma. Se encontró que el porcentaje de cenizas fue de 0.458 %, lo que coincide con lo obtenido por Prades *et al.* (2012) quienes encontraron que existe en promedio una presencia de 0.46% de cenizas en agua de coco. Respecto a los sólidos volátiles el porcentaje detectado fue de 0.595.

Cuadro 2.1 Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de materia seca, AST, zeatina y trans-zeatina en agua de coco (*Cocos nucifera* L.) fresca y liofilizada proveniente de la localidad Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Variable	Media	CV (%)	Cuadrados medios	
			Técnica de procesamiento	Error
Materia seca (%)	5.64	5.16	38.48***	0.08
AST (%)	53.12	9.33	37316.15***	24.57
Zeatina (%)	51.12	13.78	2419.65***	40.67
Trans-zeatina (%)	1.79	13.97	10.83***	0.06

AST: azúcares solubles totales. *** = $P \leq 0.0001$: valores estadísticamente altamente significativos.

Cuadro 2.2. Promedios de materia seca, AST, zeatina, trans-zeatina y cinetina en agua de coco (*Cocos nucifera* L.) fresca y liofilizada proveniente de la localidad Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Variable	DMS	Técnica de procesamiento	
		Fresco	Liofilizado
Materia seca (%)	0.21	4.68 ^b	6.89 ^a
AST (%)	4.65	7.59 ^b	98.66 ^a
Zeatina (%)	0.28	58.63 ^a	40.73 ^b
Trans-zeatina (%)	0.01	1.24 ^b	2.55 ^a
Cinetina (%)	Nd	nd	2.18

AST= azúcares solubles totales. nd= no detectado. Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa Tukey ($P \leq 0.05$).

Cuantificación de minerales

Otros de los componentes que son clave para la nutrición de las plantas es la aplicación de minerales, ya que estos ayudan a su correcto desarrollo, se encontró valores de sodio, fósforo y magnesio relativamente altos (29.71, 0.74, y 0.683mg 100 mL⁻¹), al compararse con lo obtenido

por Bedaña-García (2017), quien encontró un contenido de 25, 0.4, 0.45 mg 100 mL⁻¹, respectivamente (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3 Contenido de minerales en agua de coco (*Cocos nucifera* L), en estado natural, proveniente de Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Características	
pH	4.7 ± 0.01
CE mS·m	6.31 ± 0.04
Na (mg·100 mL ⁻¹)	29.71 ± 15.8
K (mg·100 mL ⁻¹)	22.97 ± 0.9
P (mg·100 mL ⁻¹)	0.74 ± 0.14
Mg (mg·100 mL ⁻¹)	0.683 ± 0.12
Ca (mg·100 mL ⁻¹)	0.671 ± 1.3
Zn (mg·100 mL ⁻¹)	0.108 ± 0.01
Fe (mg·100 mL ⁻¹)	<0.001

Por otro lado, en cuanto a los niveles de potasio se encontró que los valores fueron más bajos (22.97 mg·100 mL⁻¹) respecto a los reportados (160 mg·100 mL⁻¹) por Bedaña-García (2017) (Cuadro 2.3). En los datos que encontraron Nnorom *et al.* (2013) se observa que el contenido de zinc es muy similar en los cocos utilizados para ese estudio en una comparación de 0.1 mg·100 mL⁻¹ contra 0.108 mg·100 mL⁻¹. En contraste el contenido de hierro en los cocos analizados en nuestro estudio se presentó en trazas (<0.001 mg·100 mL⁻¹), mientras que en ese mismo estudio se encontró una concentración de 41.21 mg·100 mL⁻¹. Lo anterior debido a que la composición varía de acuerdo con el cultivo, especie de coco, ambiente, ubicación, entre otros factores.

*Efecto de los tratamientos sobre las características físicas y químicas de frutos verdes de
Vanilla planifolia*

Sitio 1

El análisis de varianza de los resultados de las variables para evaluar el efecto del agua de coco y el Megafol en las características físicas y químicas de los frutos verdes de vainilla del sitio 1, indicó diferencias estadísticas ($P < 0.05$) para la mayoría de las variables evaluadas entre los tratamientos, con excepción de las variables xantofilas+carotenoides y materia seca. Es importante mencionar que los coeficientes de variación se mantuvieron entre 1.52 % y 14.33 % lo que da confianza en los datos evaluados (Cuadro 2.4).

En el Sitio 1, la prueba de comparación de medias a partir de Tukey ($P \leq 0.05$) mostró que, dentro de los parámetros de color, el valor de la luminosidad (L) fue significativamente mayor en el control (T1), respecto al T2 y T3, pero similar al del T4, lo que se traduce en frutos con mayor brillo en los tratamientos T1 y T4, mientras que los frutos asperjados con agua de coco con una tonalidad más oscura (Cuadro 2.5). El parámetro de color a con los valores más altos representa el color verde claro, mientras que valores negativos más bajos corresponden a un color verde oscuro. Así se detectó que, dentro de los tratamientos, el T4 tuvo el valor más alto (color verde claro) y los demás tratamientos mantuvieron un color verde oscuro. Respecto al parámetro b se observó que el T1 tuvo el valor más alto (tonalidades más amarillas) respecto al de los frutos de los tratamientos 2, 3 y 4 (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.4 Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de las características físicas y químicas de frutos verdes de *Vanilla planifolia* para los cuatro tratamientos del Sitio 1, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

	Variable	Media	CV (%)	Cuadrados medios	
				Tratamiento	Error
Características físicas	L	30.91	12.06	169.93****	13.92
	a	-4.42	11.60	17.75***	0.26
	b	18.18	13.16	136.16****	5.72
	°Hue	103.99	2.42	130.75****	6.33
	Croma	18.83	13.07	153.45****	6.06
	Índice de color	-8.41	14.32	26.17***	1.45
	Materia seca (%)	85.74	1.51	3.68 ^{ns}	1.69
	Cenizas (%)	5.97	10.23	12.19****	0.37
	Peso (g)	8.85	9.65	10.83****	0.72
Características químicas	AST (%)	32.07	11.25	45.84*	13.03
	Glucosa (%)	6.27	11.05	9.85****	0.48
	Fructosa (%)	1.78	12.99	1.16****	0.05
	Sacarosa (%)	0.18	12.85	0.07****	0.00
	Almidón (%)	0.28	13.58	0.17****	0.001
	Clorofila a (%)	1.13	10.34	0.16****	0.01
	Clorofila b (%)	0.75	12.98	0.27****	0.009
	Clorofila total (%)	1.89	9.66	0.86****	0.03
	Cx+c (%)	0.86	11.90	0.01 ^{ns}	0.01
	CFT (%)	0.90	9.61	0.17****	0.007
	Flavonoides (%)	2.27	14.10	3.42****	0.10

AST= azúcares solubles totales; Cx+c= xantofilas + carotenoides; CFT= compuestos fenólicos totales; * = $P \leq 0.05$; **** = $P \leq 0.0001$; ns: valores estadísticamente no significativos.

La variable del °Hue, definido como el ángulo de tono o la pureza del color, presento los valores más altos en los tratamientos 1, 2 y 3, respecto al T4. La evaluación de Cromo, definida como el grado de diferencia de un tono, en comparación con un color gris con la luminosidad, es decir la saturación del color, mostró al T1 con el valor más alto y como el de mayor intensidad de color, los demás tratamientos presentaron colores opacos (Cuadro 2.5).

La acumulación de materia seca no presentó diferencias entre tratamientos, pero el peso fresco de los frutos fue significativamente mayor en los T2 y T3 (9.45 y 9.96 g, respectivamente). La presencia de cenizas tuvo el valor más alto en el T2, pero estadísticamente similar al T1, aunque diferentes al T4 (Cuadro 2.5).

Dentro de las características químicas, la acumulación de azúcares solubles totales no mostró diferencias entre tratamientos. Pero de los azúcares reductores, el T1 tuvo los valores más altos de glucosa y sacarosa respecto a los demás tratamientos, y el T2 mostró el mayor porcentaje de fructosa y de almidón (Cuadro 2.5).

Respecto a los pigmentos, la clorofila a mostro los valores más altos en el T1 y T2 en relación al T3, y la clorofila b fue significativamente más alta en los frutos del T1 respecto a los demás tratamientos. La clorofila total tuvo los valores más altos en el T1 y T2. Mientras que los carotenoides no mostraron diferencias entre los tratamientos (Cuadro 2.5).

El contenido de compuestos fenólicos totales se presentó en mayor cantidad en los frutos del T1 y T3 y fueron significativamente diferentes a los frutos del T4. Mientras que los frutos del T1 y T2 mostraron el contenido más alto de flavonoides y diferente estadísticamente al de los frutos del T4 (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.5 Promedios de características físicas y químicas de frutos verdes de *Vanilla planifolia* por tratamiento del Sitio 1, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Variable	DMS	Tratamiento				
		1	2	3	4	
Características físicas	L	2.404	33.48 ^a	28.14 ^c	29.74 ^{bc}	31.54 ^{ab}
	a	0.322	-5.35 ^d	-4.45 ^c	-4.12 ^b	-3.63 ^a
	b	1.672	20.83 ^a	16.40 ^{bc}	16.32 ^c	18.05 ^b
	°Hue	1.542	104.53 ^a	105.67 ^a	104.54 ^a	101.25 ^b
	Croma	1.693	21.67 ^a	17.02 ^b	16.99 ^b	18.49 ^b
	Índice de color	0.947	-7.86 ^{ab}	-10.12 ^c	-8.51 ^b	-7.49 ^a
	Materia seca (%)	1.474	85.34 ^a	86.53 ^a	85.70 ^a	85.31 ^a
	Cenizas (%)	0.966	6.79 ^{ab}	7.17 ^a	6.09 ^b	4.12 ^c
	Peso (g)	1.897	7.68 ^b	9.45 ^a	9.96 ^a	8.31 ^b
	Características químicas	AST (%)	5.833	29.75 ^a	33.81 ^a	29.68 ^a
Glucosa (%)		0.69	7.36 ^a	6.09 ^b	5.67 ^b	5.76 ^b
Fructosa (%)		0.24	1.60 ^b	2.25 ^a	1.69 ^b	1.64 ^b
Sacarosa (%)		0.024	0.30 ^a	0.15 ^{bc}	0.17 ^b	0.14 ^c
Almidón (%)		0.049	0.16 ^c	0.43 ^a	0.15 ^c	0.35 ^b
Clorofila a (%)		0.177	1.31 ^a	1.20 ^{ab}	0.95 ^c	1.07 ^{bc}
Clorofila b (%)		0.148	0.99 ^a	0.83 ^b	0.53 ^c	0.66 ^c
Clorofila total (%)		0.275	2.30 ^a	2.04 ^a	1.49 ^b	1.74 ^b
Cx+c (%)		0.154	0.87 ^a	0.91 ^a	0.79 ^a	0.86 ^a
CFT (%)		0.077	0.99 ^a	0.88 ^b	0.96 ^{ab}	0.77 ^c
Flavonoides (%)		0.303	2.63 ^a	2.51 ^{ab}	2.27 ^b	1.56 ^c

AST= azúcares solubles totales; Cx+c= xantofilas + carotenoides; CFT= compuestos fenólicos totales. Tratamientos: 1= 100% agua potable; 2= agua de coco al 50%; 3= agua de coco al 100%; 4= Megafol. Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa Tukey ($P \leq 0.05$).

Sitio 2

Las variables analizadas en el Sitio 2 fueron las mismas que en el Sitio 1. El análisis de varianza realizado para este sitio mostró que la mayoría de las variables físicas tuvieron diferencias significativas, con excepción de L, grados hue, porcentaje de materia seca y peso de fruto. En cuanto al coeficiente de variación estuvo en un rango de 3.67 y 13.85 %. En las variables químicas se encontró que la única variable que no presentó diferencias significativas fue el porcentaje de almidón. El coeficiente de variación se mantuvo entre 10.69 y 13.63 % (Cuadro 2.6).

En la comparación de medias por prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) de las características físicas, el parámetro de color a , en los tratamientos 2, 3 y 4 se mantuvo con un color verde similar, y fue el T1 que destacó por presentar un color verde de mayor intensidad (-4.042), según la explicación de los colores y sus valores hecha por López y Di Sarli (2016). Aunque solo los frutos del T4 (-3.664) mostraron un valor de a estadísticamente diferente al control (T1). En cuanto a la variable de color b , todos los tratamientos presentan una tendencia hacia el color amarillo, pero el T3 (16.382) tuvo el mayor valor en comparación con los frutos de los demás tratamientos. Respecto al parámetro de Croma que representa la intensidad u opacidad de color que se está midiendo (Césari *et al.*, 2016), también el T3 mostró la mayor intensidad de color (17.350). Mientras que, en el índice de color, los frutos de los T3 y T4 (-9.242 y -8.646, respectivamente) mostraron los valores más altos (Cuadro 2.7).

Cuadro 2.6 Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de las características físicas y químicas de frutos verdes de *Vanilla planifolia* para los cuatro tratamientos del Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

	Variable	Media	CV (%)	Cuadrados medios	
				Tratamiento	Error
Características físicas	L	26.76	12.92	18.487ns	11.97
	a	-3.84	13.65	0.901*	0.27
	b	14.85	13.22	28.972***	3.86
	Grados hue	104.77	3.66	33.239ns	14.75
	Croma	15.58	12.43	40.646***	3.75
	Índice de color	-10.03	13.85	28.405***	1.93
	Materia seca (%)	85.89	4.26	13.481ns	13.44
	Cenizas (%)	6.36	12.00	2.870*	0.58
	Peso (g)	6.89	6.62	0.871**	0.208
Características químicas	AST (%)	31.44	10.69	152.12***	11.30
	Glucosa (%)	7.21	12.48	38.08***	0.81
	Fructosa (%)	5.16	13.40	37.26***	0.47
	Sacarosa (%)	0.79	13.63	3.42***	0.01
	Almidón (%)	0.81	12.60	0.01ns	0.01
	Clorofila a (%)	1.76	13.18	0.64***	0.05
	Clorofila b (%)	1.15	11.93	0.50***	0.01
	Clorofila total (%)	1.15	11.93	0.50***	0.01
	Cx+c (%)	0.93	13.42	0.23***	0.01
	CFT (%)	0.17	12.19	0.03***	0.00
	Flavonoides (%)	1.79	13.20	1.57***	0.05

AST= azúcares solubles totales; Cx+c= xantofilas + carotenoides; CFT= compuestos fenólicos totales; * = $P \leq 0.05$; *** = $P \leq 0.0001$; ns: valores estadísticamente no significativos. ns: valores estadísticamente no significativos.

El valor de L indica la tonalidad entre negro y blanco en una escala que va de 0 a 100. La variable *a* cuando presenta valores negativos representa el color verde, cuando son valores positivos lo que se representa visualmente es el color rojo. Por último, la variable *b* en valores negativos es azul y cuando son valores positivos lo que se representa es el color amarillo (Padrón-Pereira *et al.*, 2012).

En el contenido de clorofila *a* se acumuló en mayor cantidad en los frutos de T1 y T2, pero en aquellos de T3 y T4 fueron significativamente menores. Este pigmento depende del contenido de los nutrientes como fósforo y nitrógeno, es decir entre más alta sea la concentración de algunos nutrientes más alto será el contenido de clorofila *a*. La acumulación de clorofila depende de la intensidad de la luz y temperatura, entre mayor sea la temperatura mayor es la luminosidad y también el contenido de clorofila *a* (Bonansea *et al.*, 2012). En cuanto a la clorofila *b* su contenido fue mayor en los frutos de T2 y T3 (1.34 y 1.34, respectivamente), de manera similar estos tratamientos mostraron también el contenido más alto de clorofila total (Cuadro 2.7). El contenido de clorofilas indica una relación directa con la fotosíntesis de la planta y por lo tanto de la generación de nutrientes a partir de la energía solar (Hernández-Acosta *et al.*, 2014). En un estudio realizado por Zermeño-González *et al.* (2015) se encontró que, en maíz, existe una relación directa entre la concentración de clorofila y el rendimiento de los granos. El porcentaje de cenizas acumulado en los frutos, los tratamientos 1, 3 y 4 mostraron porcentajes similares, pero solo el T3 y T4 fueron significativamente mayores y diferentes al T2, este puede estar relacionado con la acumulación de materia seca y también con el mayor contenido de minerales por el efecto de una mayor concentración de agua de coco (100 %) y del Megafol (Cuadro 2.7). El peso de frutos mostró diferencias significativas entre tratamiento, donde destacaron con un mayor peso los T2 y T3 con 7.01 y 7.25 g, respectivamente.

Cuadro 2.7 Promedios de valores de las características físicas y químicas de frutos verdes de *Vanilla planifolia* por tratamiento del Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Variable	DMS	Tratamiento				
		1	2	3	4	
Características físicas	L	2.23	27.07 ^a	25.58 ^a	26.97 ^a	27.27 ^a
	a	0.35	-4.04 ^c	-3.77 ^{ab}	-3.94 ^{ab}	-3.66 ^a
	b	1.47	14.62 ^b	14.50 ^b	16.38 ^a	13.80 ^b
	°Hue	2.35	104.34 ^a	105.39 ^a	103.65 ^a	105.73 ^a
	Croma	1.40	14.88 ^b	14.74 ^b	17.35 ^a	15.16 ^b
	Índice de color	1.22	-11.05 ^b	-11.08 ^b	-9.24 ^a	-8.64 ^a
	Materia seca (%)	4.04	86.06 ^a	86.18 ^a	86.92 ^a	84.41 ^a
	Cenizas (%)	1.23	6.13 ^{ab}	5.49 ^b	6.91 ^a	6.93 ^a
	Peso (g)	1.06	6.64 ^b	7.01 ^{ab}	7.25 ^a	6.65 ^b
	Características químicas	AST (%)	5.43	38.66 ^a	28.12 ^b	27.85 ^b
Glucosa (%)		0.92	7.58 ^a	8.41 ^a	4.91 ^b	8.16 ^a
Fructosa (%)		0.78	5.03 ^b	7.15 ^a	3.12 ^c	4.69 ^b
Sacarosa (%)		0.12	0.83 ^b	1.53 ^a	0.52 ^c	0.31 ^d
Almidón (%)		0.10	0.75 ^a	0.80 ^a	0.81 ^a	0.85 ^a
Clorofila a (%)		0.31	2.09 ^a	1.98 ^{ab}	1.76 ^{bc}	1.47 ^c
Clorofila b (%)		0.18	0.81 ^c	1.34 ^a	1.34 ^a	1.03 ^b
Clorofila total (%)		0.43	2.90 ^{ab}	3.33 ^a	3.10 ^a	2.50 ^b
Cx+c (%)		0.17	0.956 ^a	0.80 ^b	1.11 ^b	0.80 ^b
CFT (%)		0.02	0.132 ^c	0.13 ^c	0.27 ^a	0.16 ^b
Flavonoides (%)		0.25	1.798 ^a	1.28 ^b	2.01 ^a	1.99 ^a

AST= azúcares solubles totales; Cx+c= xantofilas + carotenoides; CFT= compuestos fenólicos totales; Tratamientos: 1= 100% agua potable; 2= agua de coco al 50%; 3= agua de coco al 100%; 4= Megafol. Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa Tukey ($P \leq 0.05$).

El contenido de azúcares solubles totales presentó la mayor acumulación en los frutos del control (T1), pero en glucosa los porcentajes más altos los tuvieron los frutos del T1, T2 y T4. Mientras que solo los frutos asperjados con el T2 mostraron los porcentajes más altos de fructosa (7.15) y sacarosa (1.53). El contenido de almidón no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Cuadro 2.7)

En los compuestos fenólicos totales, los frutos del tratamiento con 100 % de agua de coco (T3), tuvieron el contenido significativamente mayor. Para el contenido de flavonoides de los frutos del T1, T3 y T4 mostraron contenidos similares y mayores a los del T2 (Cuadro 2.7).

Efecto de Sitio y tratamientos en las características físicas y químicas de frutos verdes de

Vanilla planifolia

Al evaluar el efecto del sitio independientemente de los tratamientos y de los tratamientos independientemente de los sitios, resultó que entre sitios todas las variables presentaron diferencias significativas a excepción de materia seca y cenizas, mientras que entre tratamientos en la mayoría de las características analizadas tanto físicas como químicas, hubo diferencias significativas a excepción del porcentaje de cenizas (Cuadro 2.8).

La prueba de comparación de medias (Tukey, $p=0.05$) entre sitios (1 y 2) evidenció que las variables físicas de color: L (30.91), a (-4.42), b (18.18), croma (18.83), e IC (-8.41) presentaron diferencias significativas, siendo el Sitio 1 en todas estas variables el que tuvo los valores más altos (Cuadro 2.9 y Figura 2.2A). También el Sitio presentó los frutos de mayor peso (Cuadro 2.9)

Cuadro 2.8 Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de las características físicas y químicas en frutos verdes de *Vanilla planifolia* para los cuatro tratamientos del Sitio 1 y Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

	Variable	Media	CV (%)	Cuadrados medios		
				Sitio	Tratamiento	Error
Características Físicas	L	28.84	12.69	1132.83***	135.87***	13.41
	a	-4.15	13.91	21.87***	12.88***	0.33
	b	16.63	15.07	585.26***	61.37***	6.28
	°Hue	104.38	3.26	43.82 ^{ns}	52.71***	11.61
	Croma	17.31	14.93	585.59***	66.37***	6.68
	Índice de color	-9.12	15.10	105.73***	40.36***	1.90
	Materia seca (%)	85.82	3.21	0.46 ^{ns}	11.76 ^{ns}	7.62
	Cenizas (%)	6.16	18.15	1.93 ^{ns}	3.20 ^{ns}	1.25
	Peso (g)	7.87	9.55	76.81***	8.81***	0.56
Características químicas	AST (%)	31.75	14.18	4.79 ^{ns}	69.31*	20.29
	Glucosa (%)	6.72	15.68	24.67***	30.40***	1.11
	Fructosa (%)	3.33	24.67	282.80***	24.52***	0.67
	Sacarosa (%)	0.45	56.04	9.31***	1.58***	0.06
	Almidón (%)	0.61	16.32	6.19***	0.09***	0.01
	Clorofila a (%)	1.49	13.99	6.02***	0.64***	0.04
	Clorofila b (%)	0.98	21.87	2.41***	0.17 ^{ns}	0.04
	Clorofila total (%)	2.47	13.68	16.06***	1.17***	0.11
	Cx+c (%)	0.90	15.95	0.08*	0.09*	0.02
	CFT (%)	0.66	12.82	12.71***	0.13***	0.00
	Flavonoides (%)	2.05	20.84	6.68***	1.14**	0.18

AST= azúcares solubles totales; Cx+c= xantofilas + carotenoides; CFT= compuestos fenólicos totales. * = $P \leq 0.05$; *** = $P \leq 0.0001$; ns: valores estadísticamente no significativos. ns: valores estadísticamente no significativos.

El análisis entre tratamientos mostró que en los frutos del control (T1), los valores de L (30.27), b (17.96) y croma (18.70) fueron significativamente más altos y diferentes respecto a los demás tratamientos, particularmente los frutos del T4 fueron contrastantes en el parámetro a y en el IC (Cuadro 2.9 y Figura 2.2B). Estos resultados dan una visión más clara tanto de la madurez como de la calidad, pero también la posición en la planta por la luz incidente, así como la nutrición de las plantas y los factores ambientales (Carvajal-Herrera, 2011). La materia seca y el contenido de cenizas no mostraron diferencias entre tratamientos. En cuanto al peso de los frutos, los tratamientos asperjados con agua de coco, T2 (8.23 g) y T3 (8.60 g), tuvieron los pesos más altos en comparación con los demás tratamientos (Cuadro 2.9).

Cuadro 2.9 Promedio de características físicas de frutos verdes de vainilla evaluadas con cuatro tratamientos en dos sitios en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Factor		L	a	b	°Hue	Croma	IC	MS (%)	Cenizas (%)	Peso (g)
Sitio	1	30.91 ^a	-4.42 ^a	18.18 ^a	104.00 ^a	18.83 ^a	-8.41 ^a	85.74 ^a	5.97 ^a	8.85 ^a
	2	26.76 ^b	-3.84 ^b	14.85 ^b	104.78 ^a	15.58 ^b	-10.03 ^b	85.89 ^a	6.36 ^a	6.89 ^b
	DMS	0.88	0.14	0.67	0.79	0.68	0.42	1.14	0.64	0.33
Tratamiento	T1	30.27 ^a	-4.73 ^c	17.96 ^a	104.44 ^{ab}	18.70 ^a	-9.29 ^b	85.72 ^a	6.46 ^a	7.16 ^b
	T2	26.82 ^c	-4.11 ^b	15.49 ^b	105.53 ^a	15.88 ^c	-10.57 ^c	86.36 ^a	6.33 ^a	8.23 ^a
	T3	28.42 ^{bc}	-4.05 ^b	16.35 ^b	104.09 ^{ab}	17.18 ^b	-8.80 ^{ab}	86.31 ^a	6.50 ^a	8.60 ^a
	T4	29.40 ^{ab}	-3.65 ^a	16.25 ^b	103.49 ^b	17.06 ^{bc}	-8.02 ^a	84.82 ^a	5.42 ^a	7.48 ^b
	DMS	1.65	0.26	1.26	1.46	1.27	0.79	2.13	1.20	0.62

Tratamientos: 1= 100% agua potable; 2= agua de coco al 50%; 3= agua de coco al 100%; 4= Megafol. Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa Tukey ($P \leq 0.05$). IC: índice de color; MS: materia seca.

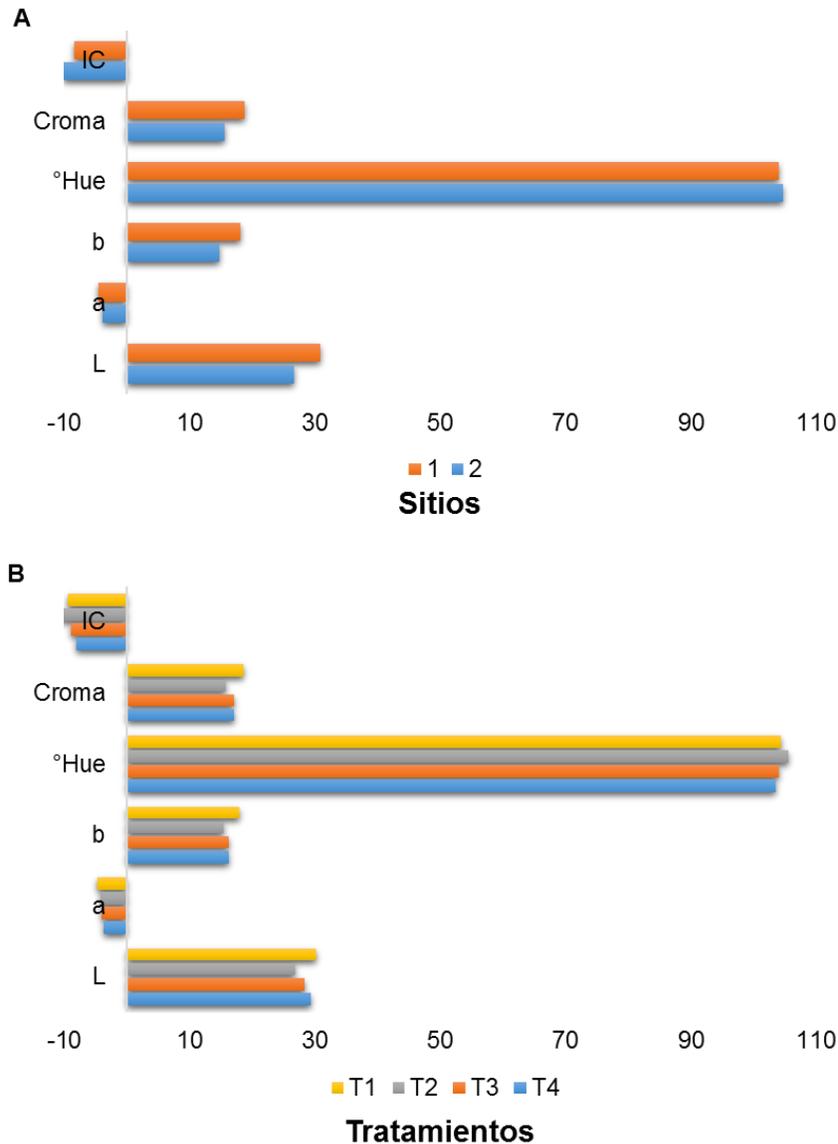


Figura 2.2 Representación gráfica de los parámetros de color L, a, b, °Hue, Cromas e índice de color en: (A) dos Sitios de cultivo (1 y 2), y (B) cuatro tratamientos (T1= 100 % agua potable; T2= agua de coco al 50 %; T3= agua de coco al 100 %; T4= Megafol) en frutos verdes de *Vanilla planifolia*.

En las características químicas, el análisis entre sitios mostró que los azúcares solubles totales no presentaron diferencias, pero los frutos del sitio 2 presentaron los valores más altos en el contenido de glucosa (7.21 %), fructosa (5.16 %), sacarosa (0.80 %) y almidón (0.81 %) (Cuadro 2.10 y Figura 2.3A). También los frutos de este Sitio acumularon la mayor cantidad de pigmentos, y presentaron los porcentajes más altos de clorofila a (1.76 %), clorofila b (1.15 %), clorofila total

(2.91 %) y xantofilas + carotenoides (0.94 %). En contraste los frutos del Sitio 1 presentaron el contenido mayor de compuestos fenólicos totales (0.91 %) y de flavonoides (2.28 %) (Cuadro 2.10 y Figura 2.3C). En los compuestos fenólicos totales (CFT) y flavonoides (Flav), los frutos del Sitio 1 tuvieron los porcentajes más altos y también una proporción cuatro veces mayor de CFT/Flav respecto a la de los frutos del Sitio 2 (Figura 2.3E).

Entre tratamientos el análisis de azúcares solubles totales mostró que los frutos de los tratamientos 1, 2 y 4 presentaron contenidos similares, y solo el T1 tuvo diferencias significativas con el T3 (Cuadro 2.10). El contenido de glucosa en los frutos del T1, T2 y T4, presentaron valores similares y mayores a los del T3. Fue notable que los frutos asperjados con 50 % de agua de coco (T2) tuvieron los contenidos más altos de fructosa, sacarosa y almidón en comparación con los contenidos en los frutos de los demás tratamientos (Cuadro 2.10 y Figura 2.3B). Por otro lado, el contenido de compuestos fenólicos totales se acumuló en mayor cantidad en los frutos del T1 y T3 y fueron diferentes a los contenidos de los frutos del T2 y T4; de manera similar en el contenido de flavonoides, los frutos de los T1 y T3 presentaron los contenidos más altos, pero solo el T1 mostro diferencias con el T2 y T4, y el T3 solo fue diferente al T4. En los valores de CFT y Flav, los frutos del T2 y T3 fueron los que presentaron los valores mayores (Cuadro 2.10 y Figura 2.3F).

Cuadro 2.10 Promedio de variables químicas de frutos verdes de vainilla evaluadas con cuatro tratamientos en dos sitios en el vainillar de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Factor		AST (%)	Glucosa (%)	Fructosa (%)	Sacarosa (%)	Almidón (%)	Cla (%)	Clb (%)	CIT (%)	Cx+c (%)	CFT (%)	Flavonoides (%)
Sitio	1	32.07 ^a	6.27 ^b	1.78 ^b	0.18 ^b	0.28 ^b	1.13 ^b	0.75 ^b	1.89 ^b	0.86 ^b	0.90 ^a	2.27 ^a
	2	31.44 ^a	7.21 ^a	5.16 ^a	0.79 ^a	0.81 ^a	1.76 ^a	1.15 ^a	2.91 ^a	0.93 ^a	0.17 ^b	1.79 ^b
	DMS	2.62	0.39	0.32	0.10	0.04	0.10	0.10	0.17	0.07	0.03	0.15
Tratamiento	T1	34.21 ^a	7.44 ^a	3.16 ^b	0.49 ^b	0.47 ^c	1.67 ^a	0.91 ^a	2.58 ^a	0.91 ^{ab}	0.70 ^a	2.34 ^a
	T2	30.97 ^{ab}	7.38 ^a	4.98 ^a	0.76 ^a	0.68 ^a	1.59 ^{ab}	1.09 ^a	2.68 ^a	0.85 ^{ab}	0.63 ^b	1.96 ^{bc}
	T3	28.76 ^b	5.30 ^b	2.28 ^c	0.33 ^{bc}	0.59 ^b	1.46 ^{bc}	1.04 ^a	2.51 ^{ab}	0.99 ^a	0.73 ^a	2.15 ^{ab}
	T4	33.08 ^{ab}	6.96 ^a	2.89 ^{bc}	0.21 ^c	0.65 ^{ab}	1.32 ^c	0.89 ^a	2.22 ^b	0.82 ^b	0.56 ^c	1.80 ^c
	DMS	4.91	0.73	0.61	0.18	0.07	0.20	0.20	0.32	0.13	0.29	0.06

AST= azúcares solubles totales; Cla= clorofila a; Clb= clorofila b; CIT= clorofila total; Cx+c= xantofilas y carotenoides; CFT: compuestos fenólicos totales. Tratamientos: 1= 100% agua potable; 2= agua de coco al 50%; 3= agua de coco al 100%; 4= Megafol.

Letras

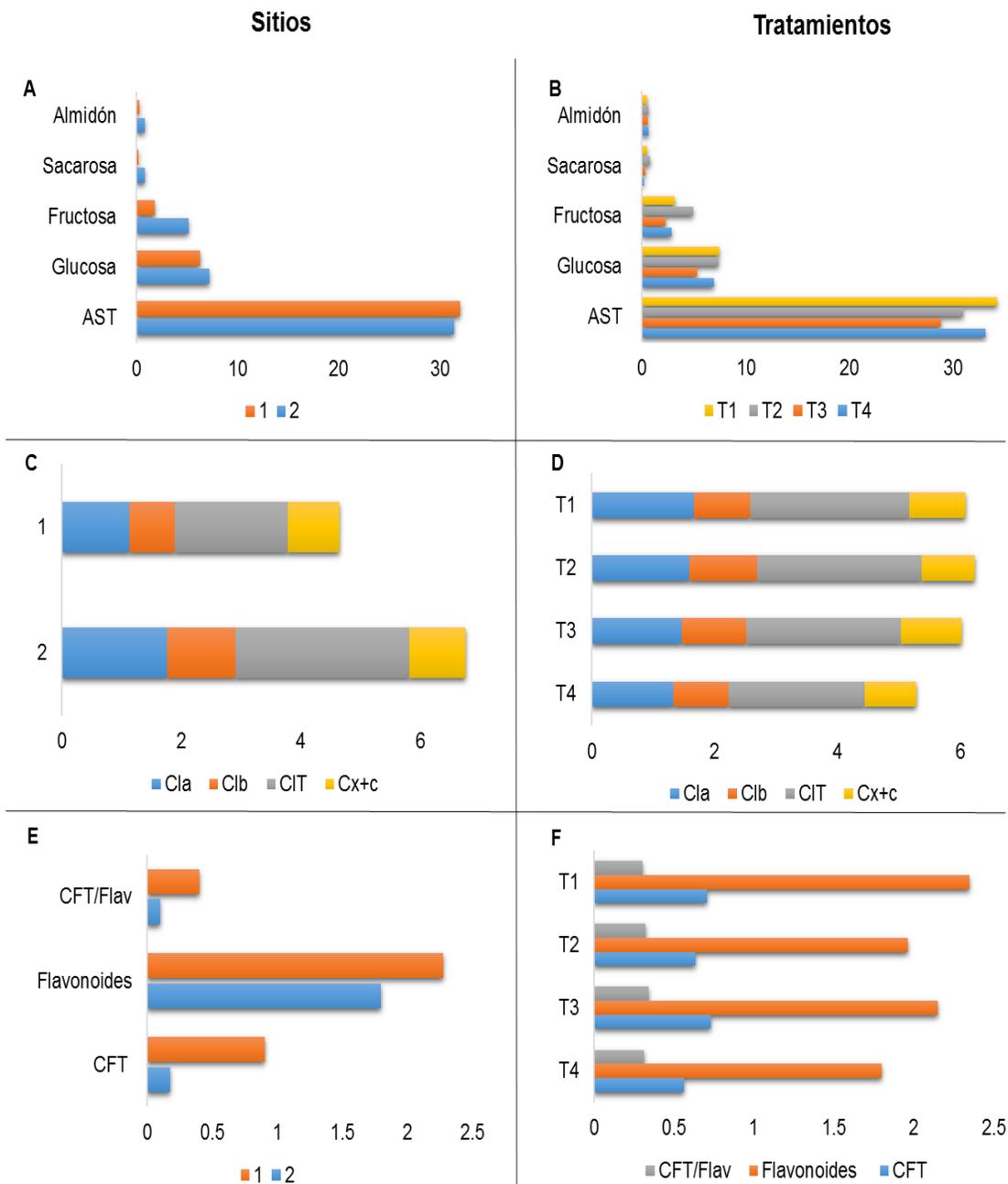


Figura 2.3 Representación gráfica de la distribución de variables en dos Sitios de cultivo (1 y 2) y en cuatro tratamientos (T1= 100 % agua potable; T2= agua de coco al 50%; T3= agua de coco al 100 %; T4= Megafol) del porcentaje de: **(A y B)** azúcares solubles totales (AST), glucosa, fructosa, sacarosa, almidón; de **(C y D)** clorofila a (Cla), clorofila b (Clb), Clorofila total (CIT), xantofilas y carotenoides (Cx+c); y **(E y F)** compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides (Flav), proporción CFT/Flav en frutos beneficiados de *Vanilla planifolia*.

*Efecto de los tratamientos sobre las características físicas y químicas de frutos beneficiados de *Vanilla planifolia**

Sitio 1

El análisis de varianza para los frutos beneficiados en el Sitio 1 mostró que tanto los datos de las variables físicas como las químicas presentaron diferencias significativas. En las variables físicas se encontró un coeficiente de variación entre 0.82 y 16.67 %, y en las variables químicas fue menor (9.94 y 14.21 %) (Cuadro 2.11).

En el análisis de comparación de medias las variables de color presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos en los frutos beneficiados, por ejemplo, el T2 y T4 presentaron los frutos de mayor luminosidad (L), pero solo el T4 fue diferente al T1 y T3 (Cuadro 2.12). Respecto a la variable *a*, los frutos del T2 (0.17) y T3 (0.17) fueron los más oscuros con una tendencia hacia tonos rojizos, de acuerdo a los tonos utilizados por López y Di Sarli (2016); y también fueron los tratamientos que presentaron los valores más altos del parámetro *b* (-0.39 y -0.41) y del índice de color (-53.37 y -61.45) (Cuadro 2.12). En las variables de color L, *a* y *b* se tiene que el ángulo Hue presentó los valores más altos con los T1 y T4 (-47.912 y -48.38, respectivamente), un comportamiento similar se observa con la variable de color croma en la que se obtuvo el valor más alto con el T1 y enseguida el T4 (1.50 y 1.30, respectivamente). En cuanto al porcentaje de materia seca, los frutos del T1 obtuvieron el mayor porcentaje (92.64 %), pero con respecto al peso del fruto, el T2 fue el que registro los de mayor peso (2.04 g), lo que sugiere que la aplicación del agua de coco al 50 % es una buena opción para obtener frutos de mayor peso y es coadyuvante para la acumulación de materia seca (Cuadro 2.12).

Cuadro 2.11. Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de las características físicas y químicas de frutos beneficiados de *Vanilla planifolia* para los cuatro tratamientos del Sitio 1, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

	Variable	Media	CV (%)	Cuadrados medios	
				Tratamiento	Error
Características físicas	L	7.58	13.84	8.24***	1.10
	a	0.57	16.67	4.71***	0.009
	b	-0.71	14.26	3.19***	0.01
	°Hue	-57.78	10.00	3043.24***	33.40
	Croma	0.92	13.56	8.09***	0.01
	Índice de color	-91.11	14.76	27797.56***	180.96
	Materia seca (%)	91.50	0.82	8.89***	0.56
	Peso (g)	1.74	14.08	0.42***	0.06
Características químicas	AST (%)	18.93	13.36	223.50***	6.41
	Glucosa (%)	10.63	11.50	148.61***	445.83
	Fructosa (%)	3.91	11.48	1.44**	0.20
	Sacarosa (%)	0.68	14.21	0.11***	0.009
	Almidón (%)	0.29	10.31	0.06***	0.000
	CFT (%)	2.93	9.94	0.59**	0.08
	Flavonoides (%)	2.35	13.91	1.524***	0.10

AST= azúcares solubles totales; CFT= compuestos fenólicos totales. * = $P \leq 0.05$; *** = $P \leq 0.0001$; ns: valores estadísticamente no significativos. ns: valores estadísticamente no significativos.

Cuadro 2.12 Promedio de características físicas y químicas de frutos beneficiados de *Vanilla planifolia* por tratamiento del Sitio 1, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Variable	DMS	Tratamiento				
		1	2	3	4	
Características físicas	L	0.74	6.94 ^b	7.65 ^{ab}	7.26 ^b	8.22 ^a
	a	0.07	0.99 ^a	0.17 ^c	0.17 ^c	0.86 ^b
	b	0.07	-1.08 ^c	-0.39 ^a	-0.41 ^a	-0.97 ^b
	°Hue	3.98	-47.91 ^a	-65.98 ^b	-66.05 ^b	-48.38 ^a
	Croma	0.09	1.50 ^a	0.44 ^c	0.44 ^c	1.30 ^b
	Índice de color	11.66	-141.29 ^c	-58.37 ^a	-61.44 ^a	-110.81 ^b
	Materia seca (%)	0.81	92.64 ^a	91.46 ^b	91.37 ^b	90.55 ^b
	Peso (g)	0.30	1.61 ^b	2.04 ^a	1.59 ^b	1.70 ^b
Características químicas	AST (%)	3.17	22.61 ^a	14.37 ^b	14.65 ^b	23.12 ^a
	Glucosa (%)	1.35	13.33 ^a	5.46 ^c	12.06 ^{ab}	11.74 ^b
	Fructosa (%)	0.50	4.28 ^a	3.43 ^c	3.73 ^{bc}	4.04 ^{ab}
	Sacarosa (%)	0.10	0.73 ^{ab}	0.56 ^c	0.66 ^{bc}	0.79 ^a
	Almidón (%)	0.03	0.24 ^{bc}	0.41 ^a	0.22 ^c	0.28 ^b
	CFT (%)	0.27	2.77 ^b	2.70 ^b	3.08 ^a	3.06 ^a
	Flavonoides	0.32	2.63 ^a	2.51 ^{ab}	2.27 ^b	1.85 ^c

AST= azúcares solubles totales; CFT= compuestos fenólicos totales. Tratamientos: 1= 100% agua potable; 2= agua de coco al 50%; 3= agua de coco al 100%; 4= Megafol. Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa Tukey ($P \leq 0.05$).

En el análisis de las características químicas (Cuadro 2.12), mostró que en la acumulación de azúcares solubles totales en los frutos del T1 y T4 fue aproximadamente 50 % más alto en comparación con los T2 y T3. En el contenido de glucosa, los frutos del T1 y T3 tuvieron los contenidos más altos, pero solo el T1 fue superior al T2 y T4. En el contenido de fructosa, el T1 y T4 mostraron los valores más altos, pero solo el T1 fue estadísticamente superior a los T2 y T3. En relación con la sacarosa los frutos beneficiados del T1 y T4 mostraron los contenidos más altos, y en el contenido de almidón, los frutos del T2 tuvieron el contenido mayor y diferente en comparación a los demás tratamientos. En cuanto a la presencia de compuestos fenólicos totales (CFT), los frutos del tratamiento T3 (30.84 %) y T4 (3.07 %) tuvieron los valores mayores y diferentes a los demás tratamientos. En contraste la mayor acumulación de flavonoides se presentó en los frutos del T1 y T2 (2.63 % y 2.52 %, respectivamente).

Sitio 2

El análisis de varianza para el sitio 2 evidenció que las características físicas presentaron diferencias significativas con excepción de la variable de color L y porcentaje de materia seca, en cuanto a las características químicas, solo los compuestos fenólicos totales no presentaron diferencias significativas. Es importante mencionar que el coeficiente de variación se mantuvo entre 0.94 y 15.30 % para las características físicas y en las características químicas entre 10.82 y 14.48 % (Cuadro 2.13).

En la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p=0.05$), dentro de las variables de color, la luminosidad (L), no presentó diferencias entre tratamientos, pero en el parámetro a (-0.35), °Hue (-115.64) e IC (-61.96) el T2 fue el que presentó los valores más altos respecto a los demás tratamientos (Cuadro 2.14).

Cuadro 2.13 Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de las características físicas y químicas de frutos beneficiados de *Vanilla planifolia* para los cuatro tratamientos del Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

	Variable	Media	CV (%)	Cuadrados medios	
				Tratamiento	Error
Características físicas	L	6.81	13.39	1.28 ^{ns}	0.83
	a	-0.59	12.68	1.20***	0.005
	b	-0.75	12.35	0.72***	0.008
	°Hue	-127.97	4.33	3983.05***	30.83
	Croma	0.97	9.40	0.83***	0.008
	Índice de color	-117.03	15.30	55874.92***	320.90
	Materia seca (%)	90.95	0.94	0.41 ^{ns}	0.74
	Peso (g)	1.06	13.53	0.46***	0.02
Características químicas	AST (%)	21.52	13.29	152.27***	8.18
	Glucosa (%)	11.02	14.47	34.24***	2.54
	Fructosa (%)	3.58	13.23	6.74***	0.22
	Sacarosa (%)	0.54	12.18	0.56***	0.004
	Almidón (%)	0.34	11.84	0.007*	0.001
	CFT (%)	2.77	10.81	0.08 ^{ns}	0.08
	Flavonoides	1.73	13.98	2.15***	0.05

AST= azúcares solubles totales; CFT= compuestos fenólicos totales. * = $P \leq 0.05$; *** = $P \leq 0.0001$; ns: valores estadísticamente no significativos. ns: valores estadísticamente no significativos.

Cabe mencionar que, aunque estos resultados pueden estar relacionados con la aspersión del agua de coco también puede relacionarse con la exposición al sol, ya que, en varias especies, como en los frutos de tomate, por ejemplo, pueden sufrir cambios en la coloración debido a la cantidad de luz que los frutos están recibiendo (Ashebir *et al.*, 2009). En el parámetro b, el T3 presentó el valor más alto y en Croma fue el T4. En cuanto al peso de los frutos es interesante observar que los tratamientos que fueron asperjados con agua de coco, T2 y T3 presentaron el peso mayor (Cuadro 2.14).

Cuadro 2.14 Promedio de características físicas y químicas de fruto beneficiado de *Vanilla planifolia* por tratamiento del Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

	Variable	DMS	Tratamiento			
			1	2	3	4
Características físicas	L	0.67	6.68 ^a	6.98 ^a	7.01 ^a	6.55 ^a
	a	0.05	0.49 ^b	0.35 ^a	0.76 ^c	0.76 ^c
	b	0.06	-0.70 ^b	-0.78 ^c	-0.56 ^a	-0.94 ^d
	°Hue	3.84	-124.50 ^b	-115.64 ^a	-143.42 ^d	-128.72 ^c
	Croma	0.06	0.86 ^c	0.85 ^c	0.96 ^b	1.21 ^a
	Índice de color	14.60	-96.56 ^b	-61.79 ^a	-185.70 ^d	-118.28 ^c
	Materia seca (%)	0.93	90.73 ^a	91.17 ^a	91.02 ^a	90.88 ^a
Peso (g)	0.18	0.72 ^c	1.20 ^{ab}	1.25 ^a	1.05 ^b	
Características químicas	AST (%)	3.57	20.46 ^b	24.83 ^a	16.14 ^c	24.49 ^a
	Glucosa (%)	1.59	10.92 ^b	11.05 ^b	9.19 ^c	12.89 ^a
	Fructosa (%)	0.52	3.72 ^b	3.21 ^{bc}	2.83 ^c	4.55 ^a
	Sacarosa (%)	0.06	0.41 ^c	0.48 ^b	0.48 ^b	0.83 ^a
	Almidón (%)	0.05	0.33 ^{ab}	0.35 ^{ab}	0.37 ^a	0.30 ^b
	CFT (%)	0.27	2.81 ^a	2.83 ^a	2.67 ^a	2.77 ^a
	Flavonoides	0.26	1.72 ^b	1.12 ^c	2.01 ^a	1.96 ^{ab}

AST= azúcares solubles totales; CFT= compuestos fenólicos totales. Tratamientos: 1= 100% agua potable; 2= agua de coco al 50%; 3= agua de coco al 100%; 4= Megafol. Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa Tukey ($P \leq 0.05$).

En cuanto a las características químicas, se tiene que AST fue mayor con la aplicación de T2 y T4, la glucosa, fructosa y sacarosa presentaron valores más altos con la aplicación de T4, por otro lado, en cuanto al contenido de almidón, CFT y flavonoides, los contenidos fueron mayor con la aplicación de T3 (cuadro 2.14).

Efecto de Sitio y tratamientos en las características físicas y químicas de frutos beneficiados de Vanilla planifolia

Para conocer el efecto del sitio y tratamientos de forma independientemente se realizaron análisis tanto de varianza como de comparación de medias (Tukey, $p=0.05$). El análisis por sitio mostro diferencias significativas para la mayoría de las características físicas de los frutos beneficiados excepto para el parámetro de color (*a*, *b* y croma). En las características químicas solo la glucosa no mostro diferencias significativas. En el análisis entre tratamientos, todas las características físicas mostraron diferencias significativas, y en las características químicas solo el contenido de compuestos fenólicos totales no presento diferencias significativas (Cuadro 2.15). El coeficiente de variación en las características físicas estuvo en un rango de amplitud entre 0.98 y 36.4 %, y en las características químicas entre 11.03 y 20.45 %.

Cuadro 2.15 Promedio de características físicas y químicas en frutos beneficiados de *Vanilla planifolia* para los cuatro tratamientos del Sitio 1 y Sitio 2, Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

	Variable	Media	CV (%)	Cuadrados medios		
				Sitio	Tratamiento	Error
Características físicas	L	7.21	14.17	31.67***	3.59*	1.04
	a	0.58	36.40	72.64 ^{ns}	2.48***	0.05
	b	-0.73	22.81	0.06 ^{ns}	2.62***	0.02
	°Hue	-92.72	9.19	282047.71***	3970.22***	72.62
	Croma	0.95	26.38	0.15 ^{ns}	5.31***	0.06
	Índice de color	-104.80	33.04	26609.57***	34946.34***	1199.34
	Materia seca (%)	91.23	0.98	7.46*	3.86*	0.80
	Peso (g)	1.41	15.99	8.40***	0.62***	0.05
Características químicas	AST (%)	20.23	17.32	127.57*	250.35***	12.28
	Glucosa (%)	10.84	20.44	4.03 ^{ns}	85.93***	4.91
	Fructosa (%)	3.74	14.21	2.61*	5.88***	0.28
	Sacarosa (%)	0.60	17.43	0.53***	0.51***	0.01
	Almidón (%)	0.31	17.21	0.04**	0.03***	0.002
	CFT (%)	2.84	11.02	0.82*	0.13 ^{ns}	0.09
	Flavonoides	2.07	19.83	10.40***	0.65*	0.16

AST= azúcares solubles totales; CFT= compuestos fenólicos totales. * = $P \leq 0.05$; *** = $P \leq 0.0001$; ns: valores estadísticamente no significativos. ns: valores estadísticamente no significativos

Analizando el promedio de las características físicas de los frutos beneficiados dentro de los sitios (Cuadro 2.16), se detectó que las variables *a* y *b* no presentan diferencias significativas, por otro lado, al ser la variable croma una variable que se obtiene a partir de *a* y *b*, esta tampoco presenta diferencias significativas. Sin embargo, el resto de las variables si presentó dichas diferencias entre sitios. Comenzando por la variable L donde se interpreta según Matthias-Retting y Ah-Hen (2014) que los frutos con los valores más altos tienen mayor luminosidad, como fue el caso de los frutos del Sitio 1 (Cuadro 2.16 y Figura 2.4A). Por otro lado, el nivel de cromaticidad medido con

parámetro °Hue y el índice de color, también muestran que en el sitio 1 se encuentran los frutos con una coloración más cercana al verde, mientras que aquellos pertenecientes al Sitio 2 presentan una coloración ligeramente amarilla (Figura 2.4A) (García-Taín *et al.*, 2011). Respecto a la acumulación de materia seca y peso de los frutos, el Sitio 1 (91.50 % y 1.74 g, respectivamente) registro valores significativamente mayores que en los del Sitio 2 (90.95 % y 1.07 g, respectivamente) (Cuadro 2.16).

En este sentido, al analizar las mismas variables, pero ahora comparando los tratamientos sin importar la ubicación dentro del vainillal, se encontraron diferencias significativas en todas las características físicas analizadas, por ejemplo, en luminosidad (L), los tratamientos T2, T3 y T4 tuvieron valores similares, pero solo el T4 presentó una L significativamente más alta que el control (T1). En las variables *a* y croma, el T1 y T4 tuvieron los valores más altos fueron significativamente diferentes a los de T2 y T3 (Cuadro 2.16) estos valores indican que el color al que más se acercan estos tratamientos es hacia el rojo y el azul con una intensidad relativamente alta (Piñeiro-Di *et al.*, 2014), así, en el T1 los valores más altos los presentó *a*, Hue y croma (0.74, -85.45 y 1.19). Sin embargo, los frutos del T2 asperjados con el agua de coco, mostraron los valores significativamente mayores en el índice de color (IC) (Figura 2.4B), lo que sugiere que este tratamiento favorece un cambio en el color de los frutos beneficiados. En relación con el peso del fruto, el T2 y T3 (asperjados con agua de coco al 50 y 100 %), presentaron los frutos de mayor peso, aunque solo el T2 mostro diferencia significativa con el T1 y T4 (Cuadro 2.16), resultado que puede estar relacionado con el contenido de reguladores de crecimiento que principalmente actúan en la división celular.

Cuadro 2.16 Promedio de características físicas de frutos beneficiados de vainilla evaluadas con cuatro tratamientos en dos sitios en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Factor		L	a	B	°Hue	Croma	Índice de color	Materia seca (%)	Peso (g)
Sitio	1	7.58 ^a	0.57 ^a	-0.71 ^a	-57.78 ^a	0.92 ^a	-91.11 ^a	91.50 ^a	1.74 ^a
	2	6.81 ^b	0.59 ^a	-0.75 ^a	-127.98 ^b	0.97 ^a	-117.03 ^b	90.95 ^b	1.06 ^b
	DMS	0.27	0.05	0.04	2.21	0.06	10.86	0.36	0.10
Tratamiento	T1	6.82 ^b	0.74 ^a	-0.88 ^c	-85.45 ^a	1.19 ^a	-116.90 ^b	91.69 ^a	1.21 ^c
	T2	7.34 ^{ab}	0.27 ^c	-0.61 ^b	-91.22 ^b	0.67 ^b	-60.12 ^a	91.31 ^{bc}	1.62 ^a
	T3	7.13 ^{ab}	0.50 ^b	-0.49 ^a	-102.83 ^c	0.70 ^b	-126.68 ^b	91.20 ^{bc}	1.43 ^{ab}
	T4	7.45 ^a	0.81 ^a	-0.96 ^c	-89.98 ^b	1.26 ^a	-114.78 ^b	90.71 ^c	1.36 ^{bc}
	DMS	0.52	0.10	0.08	4.13	0.12	20.33	0.67	0.19

Tratamientos: 1= 100% agua potable; 2= agua de coco al 50%; 3= agua de coco al 100%; 4= Megafol. Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa Tukey ($P \leq 0.05$).

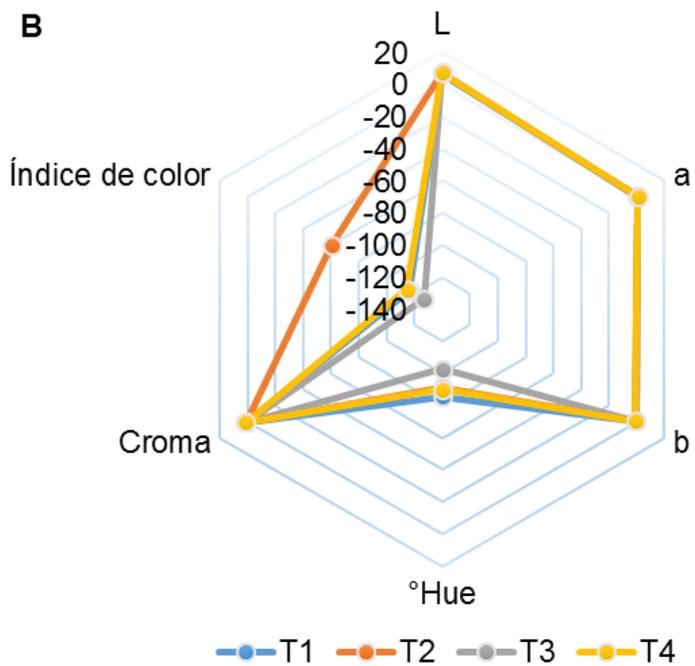
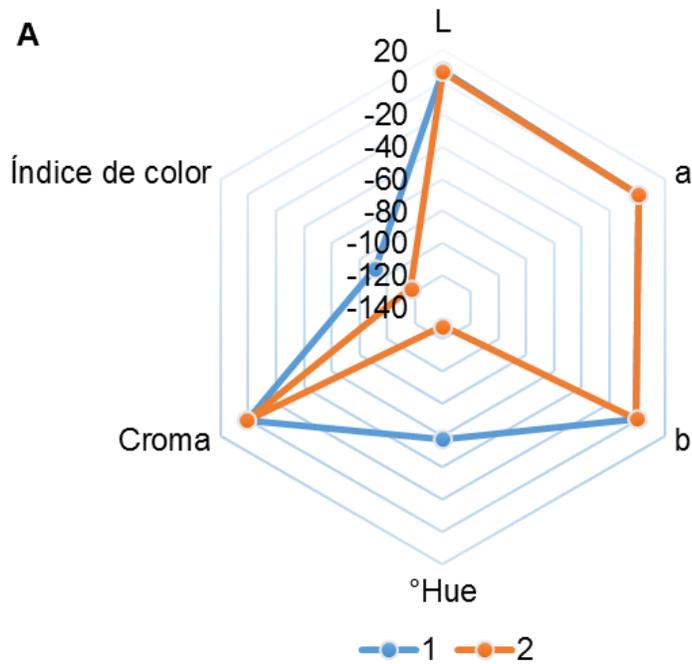


Figura 2.4 Representación gráfica de los parámetros de color L, a, b, °Hue, Cromas e índice de color en: **(A)** dos Sitios de cultivo (1 y 2), y **(B)** cuatro tratamientos (T1= 100 % agua potable; T2= agua de coco al 50 %; T3= agua de coco al 100 %; T4= Megafol) en frutos beneficiados de *Vanilla planifolia*.

En cuanto al análisis de las características químicas de los frutos beneficiados se encontraron diferencias significativas entre los sitios, sin importar el tratamiento aplicado, excepto en glucosa (Cuadro 2.17). Aunque los frutos del Sitio 2 presentaron el porcentaje mayor de AST (21.53) y de almidón (0.34), los frutos del Sitio 1 tuvieron una acumulación mayor de fructosa (3.92 %) y de sacarosa (0.69 %) (Cuadro 2.17 y Figura 2.5A). En el contenido de CFT y flavonoides, los frutos del Sitio 1 mostraron en ambos compuestos un porcentaje mayor (2.93 y 2.36) respecto a los del Sitio 2 (2.77 y 1.74) (Cuadro 2.17), pero una proporción menor de CFT y Flav (1.24). Esto se puede relacionar con el hecho de que en el Sitio 1 se comenzó con la aplicación de los tratamientos al inicio de la floración y en el sitio dos semanas después, estos resultados coinciden con lo mencionado por Borjas-Ventura (2020), quien afirma que algunas fitohormonas pueden llegar a modificar el color, sabor y aroma de los frutos de las plantas. En relación con los azúcares, el T1 y T4 destacaron por presentar los porcentajes más altos de AST, glucosa y fructosa, y el T4 también de sacarosa (Cuadro 2.17 y Figura 2.5B). En el contenido de flavonoides, el T1 y T3 mostraron los porcentajes mayores, pero sólo el control (T1) fue diferente al T2 y T4 (Cuadro 2.17). Sin embargo, en la proporción de CFT/Flav el T2, T3 y T4 mostraron una mayor proporción respecto al control (T1) (Figura 2.5D).

Cuadro 2.17 Promedio de variables químicas de frutos beneficiados de vainilla evaluadas con cuatro tratamientos en dos sitios en el vainillal de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Factor		AST (%)	Glucosa (%)	Fructosa (%)	Sacarosa (%)	Almidón (%)	CFT (%)	Flavonoides (%)
Sitio	1	18.93 ^b	10.63 ^a	3.91 ^a	0.68 ^a	0.29 ^b	2.93 ^a	2.35 ^a
	2	21.52 ^a	11.02 ^a	3.58 ^b	0.54 ^b	0.34 ^a	2.77 ^b	1.73 ^b
	DMS	1.60	0.86	0.21	0.03	0.02	0.10	0.15
Tratamiento	T1	21.41 ^{ab}	12.13 ^a	4.00 ^a	0.54 ^b	0.29 ^b	2.79 ^a	2.33 ^a
	T2	19.29 ^b	8.56 ^c	3.31 ^b	0.52 ^b	0.38 ^a	2.77 ^a	1.91 ^b
	T3	15.40 ^c	10.27 ^b	3.24 ^b	0.56 ^b	0.29 ^b	2.88 ^a	2.15 ^{ab}
	T4	23.78 ^a	12.31 ^a	4.27 ^a	0.81 ^a	0.29 ^b	2.91 ^a	1.91 ^b
	DMS	3.01	1.60	0.41	0.07	0.04	0.20	0.29

AST= azúcares solubles totales; CFT= compuestos fenólicos totales. Tratamientos: 1= 100% agua potable; 2= agua de coco al 50%; 3= agua de coco al 100%; 4= Megafol. Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa Tukey ($P \leq 0.05$).

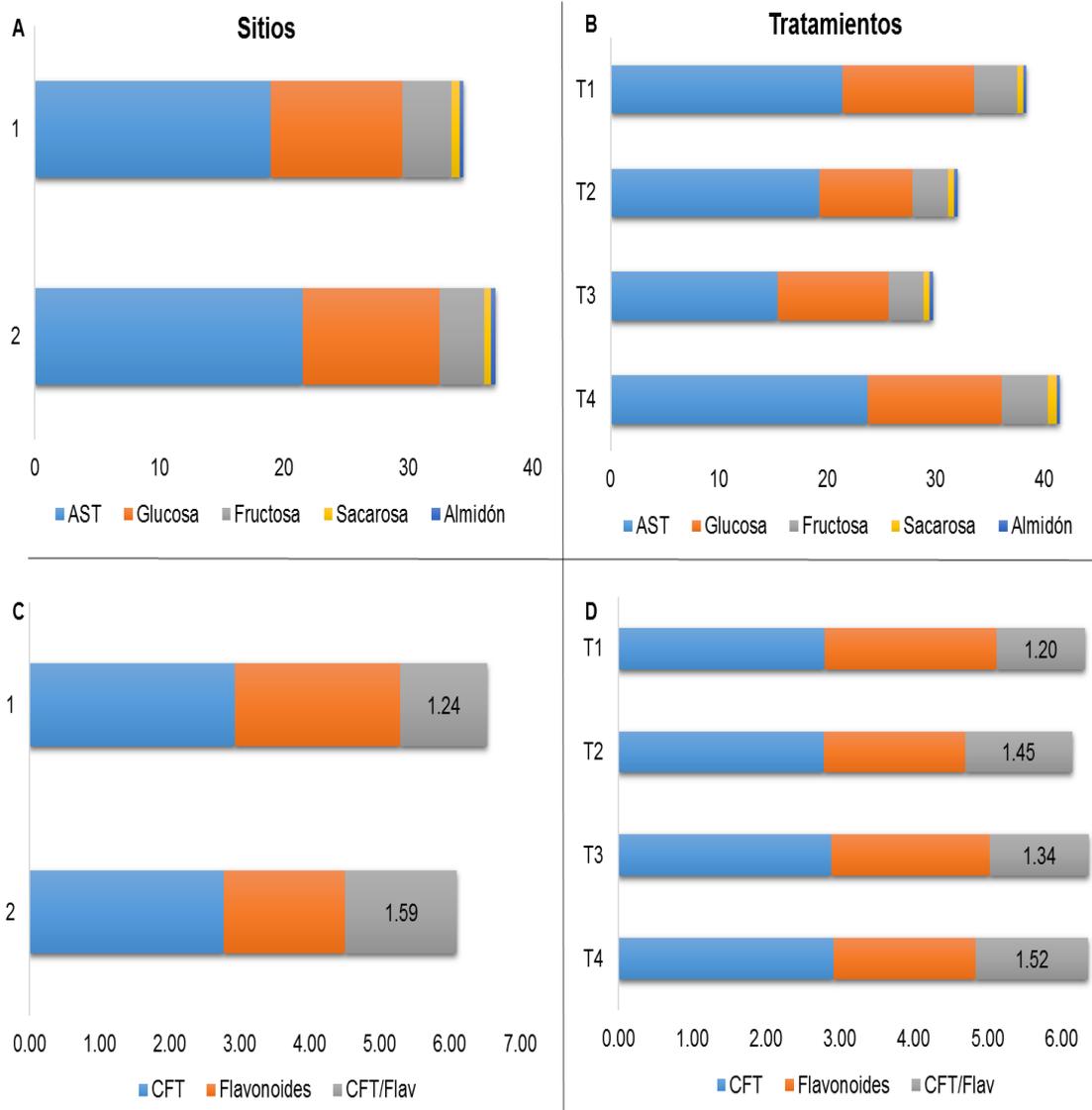


Figura 2.5 Representación grafica de la distribución en dos Sitios de cultivo (1 y 2) y en cuatro tratamientos (T1= 100 % agua potable; T2= agua de coco al 50 %; T3= agua de coco al 100 %; T4= Megafol) del porcentaje de: **(A y B)**, azúcares solubles totales (AST), glucosa, fructosa, sacarosa, almidón y de **(C y D)** compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides (Flav), y de la proporción CFT/Flav en frutos beneficiados de *Vanilla planifolia*.

2.4 CONCLUSIONES

Los nutrientes encontrados en el agua de coco utilizada para este estudio tienen efectos en ciertas características físicas y químicas de los frutos de vainilla, según la concentración del tratamiento asperjado a base de agua de coco.

En las características físicas, los frutos verdes y beneficiados del sitio 1 presentaron mayor luminosidad, índice de color y peso. En las características químicas, los frutos del sitio 2 tuvieron una acumulación mayor de glucosa, fructosa, sacarosa y almidón, así como de clorofilas y carotenoides, pero tanto los frutos verdes como beneficiados del Sitio 1 presentaron los contenidos mayores de compuestos fenólicos totales y flavonoides. Lo anterior puede ser consecuencia del momento en que se comenzó la aplicación en cada sitio, además de la diferente ubicación de cada uno de ellos dentro del mismo vainillal. Por tratamientos, los frutos verdes y beneficiados del T2 y T3 asperjados con agua de coco presentaron los frutos de mayor peso. En las características químicas, los cambios más notables se detectaron en la acumulación de azúcares, particularmente los frutos verdes del T2 mostraron los valores mayores de fructosa y sacarosa, y en los frutos beneficiados el T1 y T4 tuvieron mayor acumulación de AST, glucosa y fructosa. En CFT, los frutos beneficiados no presentaron diferencia entre tratamientos, y en los flavonoides el T1 y T3 tuvieron los porcentajes mayores.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran un incremento en el peso de los frutos, que es una característica deseable de la calidad física de la vainilla, pero se recomienda estudiar el efecto de los tratamientos en los precursores y componentes del aroma de la vainilla.

2.5 LITERATURA CITADA

- Agampodi, V.A. y Jayawardena, B. (2009). Effect of coconut (*Cocos nucifera* L.) water extracts on adventitious root development in vegetative propagation of *Dracaena purplecompacta* L. *Acta Physiol Plant*, 31: 279-284.
- Alabdaly, H. M. M. S. y Alkhalidy, F. J. M. (2016). The effect of shading and spraying different levels of coconut water on phenotypic traits of *Coleus blumei* potted plants. *Journal of Genetic and Environmental Resources Conservation*, 4: 210 – 214.

- Álvarez – Solís J D, Gómez – Velasco D A, León – Martínez N S y Gutiérrez – Micelli F A. (2010). Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*, 44: 575 – 586.
- Ashebir, D., Jezik, K., Weingartemann, H. y Gretzmacher, R. (2009). Change in color and other fruit quality characteristics of tomato cultivars after hot-air drying at low final-moisture content. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60: 308-315.
- Bendaña-García, G. (2017). Agua de coco, agua de vida. *Revista de temas Nicaragüenses*, 116: 412-436.
- Bonanseña, M., Ledesma, C., Rodríguez, C. y Sánchez-Delgado, A.R. (2012). Concentración de clorofila-a y límite de zona fótica en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando imágenes del satélite CBERS-2B. *Ambiente & Agua-an Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 7: 61-71.
- Borjas-Ventura, R., Julca-Otiniano, A. y Alvarado-Huamán, L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8: 150-164.
- Carrillo-González y González-Chávez. (2018). Relación capacidad – intensidad de potasio en los suelos no fertilizados cultivados con vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). *Agroproductividad*, 11: 37-44.
- Carvajal-Herrera, J.J., Aristizábal-Torres, I.D., Oliveros-Tascón, C.E. y Mejía-Montoya, J.W. (2011). Colorimetría del fruto de café (*Coffea arabica* L.) durante su desarrollo y maduración. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64: 6229-6240.
- Césari, M., Stefanoni, M. E., Ventrera, N. y Gámbaro, A. (2016). Nuevo método de medida del color para alimentos vegetales. *Researchgate*.
- Clydesdale, F.M. (1975). *Methods and Measurements of Food Color*. In: Rha C. (eds) *Theory, Determination and Control of Physical Properties of Food Materials*. Series in Food Material Science, vol 1. Springer, Dordrecht.

- Cruz-Koizumi, Y. P., Alayón-Gamboa, J. A. y Morón Ríos, A. (2017). Efecto de la fertilización orgánica y de síntesis química en tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horn) en Calakmul, Campeche (México). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 21: 41 – 53.
- Diez, M. C., Osorio, M. W. y Moreno, F. (2016). Effect of dose and type of fertilizer on flowering and fruiting of vanilla plants. *Journal of Plant Nutrition*, 39: 1297-1310.
- Domingos, S., J. Fino, O.S. Paulo, C.M. Oliveira y L.F. Goulao. (2016). Molecular candidates for early-stage flower-to-fruit transition in stenopermocarpic table grape (*Vitis vinifera* L.) inflorescences ascribed by differential transcriptome and metabolome profiles. *Plant Science* 244: 40–56.
- García-Taín, Y., García-Pereira, A., Hernández-Gómez, A. y Pérez-Padrón J. (2011). Estudio de la variación del índice de color durante la conservación de piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20: 12-16.
- Ge, L., Hong-Yong, J.W., Ngim-Tan, S., Hao-Yang, X. y Shi-Ong, E. (2006). Analysis of cytokinin nucleotides in coconut (*cocos nucifera* L.) water using capillary zone electrophoresis-tandemmass spectrometry after solid-phase extraction. *Journal of Chromatography A*, 1133: 322-331.
- González-Chávez M. C., Carrillo-González R., Villegas-Monter A., Delgado-Alvarado A., Perea-Vélez S. Y. y Herrera-Cabrera B. E. (2018). Uso de vermicompost para la propagación de estacas de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). *Agroproductividad*, 3: 22-28.
- Herald T. J., Gadgil P., Tilley, M. 2012. High-throughput micro plate assays for screening flavonoid content and DPPH-scavenging activity in sorghum bran and flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(11), 2326-2331.
- Hernández-Acosta, E., García-Gallegos, E. y Ramírez-Téllez J.L. (2014). Caracterización de suelos cultivados con amaranto y algunos aspectos agronómicos de la planta. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5: 421-431.
- Hernández-Miranda O.A., Cruz-Ruiz Y., Campos J.E., Herrera-Cabrera B.E. y Salazar-Rojas V. M. (2018). Expresión diferencial del gen *arf8* involucrado en el metabolismo de auxinas

- durante la transición de flor a fruto en *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Agroproductividad*, 11: 15-21.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology* Academic Press 148: 350-382
- López, A. y Di-Sarli, A. R. (2016). El modelo CIELAB, las fórmulas de diferencia de color y el uso de la norma europea en 12878 en morteros y hormigones coloreados. *Ciencia y tecnología de los materiales*, 6: 41-53.
- Márquez-Quiroz C., López-Espinoza S. T., Cano-Ríos P. y Moreno-Reséndez A. (2013). Fertilización orgánica: una alternativa para la producción de chile piquín bajo condiciones protegidas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19: 279-286.
- Mathias-Retting, K. y Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro*, 42: 39-48.
- McLaren, K. (1976). XIII-The Development of the CIE 1976 (L*a*b) Uniform Colour Space and Colour-Difference Formula. *Journal of the Society of Dyers and colourists*, 92: 338-341.
- Michael, P. S. (2015). Effects of coconut water on callus initiation and plant regeneration potentials of sweetpotato. *Journal and proceedings of the Royal Society of New South Waks*, 144: 91-101.
- Millán, M. y Márquez, J. (2014). Propagación por estaca de las especies nativas: *Dipteryx panamensis* y *Peltogyne pubescens* usando diferentes tipos de enraizantes mediante el uso del propagador de subirrigación. Tesis de Grado (Maestría). Manizales, Colombia. Universidad de Manizales.
- Montreuil, J., Spik, G., Fournet, B., Toillier, T. (1997). Non enzymatic determinations of carbohydrates. In: *Analysis of Food Constituents*. JL Multon (ed). Wiley-VCH. Inc. New York. USA: 112-114
- Nnorom, I.C., Nnadozie, C., Ugwa, R. y Obike, A.I. (2013). Proximate and trace metal analysis of coconut (*Cocos nucifera* L.) collected from Southeastern Nigeria. *ABSU Journal of Environment, Science and Technology*, 3: 357-361.

- Ochoa-Espinosa M F, Armenta-Calderón A D, Moreno-Salazar S F, Fernández-Herrera E y Ochoa-Meza A. (2018). Fertilización orgánica y su impacto en la calidad del suelo. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 21: 87 – 101
- Ohoiulun, D., Endang, Y. H., Mahmudi, M. (2014). The effect of with coconut water content on different concentration of essential *Chlorella pyrenoidosa* Chick. *International Journal of Biosciences*, 5: 213-218.
- Osorio, A. I, Osorio-Vega, N. W., Diez, M. C. y Moreno, F. H. (2014). Nutrient status and vegetative growth of *Vanilla planifolia* Jacks plants as affected by fertilization and organic substrate composition. *Acta Agronómica*, 63: 326-334.
- Padrón-Pereira, C.A., Padrón-León, G.M., Montes-Hernández, A.I., Oropeza-González, R.A. (2012). Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con Sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense*, 36: 97-111.
- Piñeiro-Di, B., Martínez-Torres, J.I., Pozo-Antonio, J., Iglesias-Comesaña, J.S., Cuesta, C., Taboada-Castro, L., Gajino-Núñez, J. y Tresaco-Vidaller, P. (2014). Desarrollo de una aplicación para la comparación rápida de pigmentos a partir de sus coordenadas colorimétricas. *Universidad Nacional de Colombia*, 81: 49-54.
- Prades, A., Dornier, M., Nafissatou, D. y Pain, J.P. (2014). Coconut water uses, composition and properties: a review. *Fruits Journal*, 67: 87-107.
- SAGARPA. (2012). Mejoramiento de la productividad integral del cultivo de vainilla en México que fortalezca su competitividad. En Anexo B. Demandas del Sector. Fondo Sectorial de Investigación en materia Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos.
- Sandoval- Prando, M.A., Chiavazza, P., Faggio, A. y Contessa, C. (2014). Effect of coconut water and growth regulator supplements on in vitro propagation of *Corylus avellana* L. *Scientia Horticulturae*, 171: 91-94.
- Santos, J.L.A., Bispo, V.S., Filho, A.B.C., Pinto, I.F.D., Dantas, L.S., Vasconcelos, D.F., Abreu, F.F., Melo, D.A., Matos, I.A., Freitas, F.P., Gomes, O.F., Medeiros, M.H.G. y Matos, H.R.

- (2013). Evaluation of chemical constituents and antioxidant activity of coconut water (*Cocos nucifera* L.) and caffeic acid in cell culture. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 85: 1235-1246.
- SAS, Statistical Analysis System. (2004). SAS/STAT User's Guide. Version 9.1, SAS Institute Inc, Cary, North Carolina, USA. 5136 p.
- Schäfer, M., Brütting, C., Meza-Canales, I., Grobkinsky, D.K., Vankova, R., Baldwin, I.T. y Meldau, S. (2015). The role of cis-zeatin-type cytokinins in plant growth regulation and mediating responses to environmental reactions. *Journal of Experimental Botany*, 66: 4873-4884.
- Scholes, J.D., Lee, P.J., Horton, P. y Lewis, D.H. (1994). Invertase understanding changes in the photosynthetic and carbohydrate metabolism of barley leaves infected with powdery mildew. *New Phytologist*, 126: 213-222.
- Singleton, V.L. y Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. 16: 144-158.
- Varela Quirós, E. (2019). Vanilla Production in Costa Rica. En *Handbook of Vanilla Science and Technology* (2.^a ed., pp. 46 – 47). Reino Unido: Havkin-Frenkel, D. y Belanger F. C. Reino Unido: Wiley Blackwell.
- Vieira de Souza, R. A., Tavares-Braga, F., Alemu-Stotaw, T., Vieira-Neto, J., Acevedo, P. H., Acevedo, V.H. y Almeida Cancado, G. M. (2013). Effect of coconut water on growth of olive embryos cultured in vitro. *Ciencia Rural Santa María*, 43: 290-296.
- Wang, H., Schauer, N., Bjoern, U., Frasse, P., Mohamed, Z., Hernould, M., Latché, A., Pech, J. C., Fernie, A. R. y Bouzayen. M. (2009). Regulatory features underlying pollination-dependent and -independent tomato fruit set revealed by transcript and primary metabolite profiling. *The Plant Cell*, 21: 1428 – 1452.
- Xiangqing, P., Welti, R y Wang, X. (2010). Quantitative analysis of major plant hormones in crude extracts by HPLC-Mass spectrometry. *Nature protocols*.
- Zermeño-González, A., Cárdenas-Palomo, J.O., Ramírez-Rodríguez, H., Benavides-Mendoza, A., Cadena-Zapata, M. y Campos-Magaña, S.G. (2015). Fertilización biológica del cultivo de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12: 2399-2408.

CAPÍTULO III. BENEFICIO-COSTO DEL USO DE AGUA DE COCO, COMO INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE VAINILLA EN LA REGIÓN DEL TOTONACAPAN, MÉXICO

RESUMEN

En México, la principal región productora de vainilla es el Totonocapan de Puebla y Veracruz, principalmente como producción de traspatio, por lo que no existe un paquete tecnológico para su manejo y nutrición. Por otro lado, el agua de coco (*Cocos nucifera* L.), ha demostrado que tiene algunos componentes que pueden ayudar en el correcto desarrollo de las plantas, y es uno de los recursos fitogenéticos en esa región. Por lo anterior, este estudio tuvo como objetivo analizar el beneficio-costo y la ganancia que se podría obtener a partir de la aplicación del agua de coco a los frutos de vainilla, como una tecnología de innovación. El análisis del estudio de caso se realizó mediante la aplicación de un cuestionario de 100 preguntas con ocho aspectos: 1) tipo de sistema de cultivo; 2) densidad de plantas; 3) conducción; 4) poda; 5) fertilización; 6) plagas y enfermedades; 7) agua de coco y 8) cosecha. El cuestionario se aplicó a 10 productores de vainilla (4 con cultivo en malla-sombra; 3 con cultivo en naranjo y 3 en acahual). La información obtenida de los costos fijos y variables, y de los que se calculó la ganancia y el costo-beneficio se recopiló y procesó en una hoja de cálculo de Excel. Los resultados mostraron que la mayor cantidad de dinero de los costos fijos se destina principalmente a un buen sistema de riego. En los costos variables la mayor parte del gasto se destina a la mano de obra. Derivado del ingreso económico que los productores obtienen, el productor 1 que mantiene el sistema de cultivo bajo malla-sombra y que implementó la aplicación del agua de coco fue el que obtuvo la mayor ganancia. Sin embargo, aunque con menor ganancia, el productor 3 que cultiva la vainilla en acahual obtuvo el mejor beneficio-costo. Este estudio muestra que las innovaciones tecnológicas, de seguir un proceso adecuado de difusión y adopción, pueden ser una forma adecuada para mejorar la ganancia y la rentabilidad de la producción de vainilla en México.

Palabras clave: costos variables, fijos, ganancia, ingreso.

3.1 INTRODUCCIÓN

México se ubica como el tercer productor de vainilla a nivel mundial con 522 toneladas (FAOSTAT, 2017). La región del Totonacapan es una de las principales productoras en el país, dónde la mayoría son productores de superficies pequeñas con bajos rendimientos de producción. Al ser un cultivo de traspatio, representa una fuente de ingresos, que contribuye a mejorar la economía familiar (Barrera-Rodríguez, 2009). Por otro lado, a nivel social, lo que el cultivo y la producción de la vainilla deja en los pequeños productores se refleja en que forma parte de su cultura, además de riqueza nacional (Salazar, 2011).

La importancia de la vainilla se remonta a los tiempos prehispánicos que es cuando fue descubierta en México. Tiempo después, fue considerada como un factor de importancia para el comercio, además de ser una de las especias mayormente utilizadas para la elaboración de una bebida a base cacao (Menchaca-García, 2015). Al día de hoy, la vainilla es considerada una de las especias de mayor importancia a nivel gastronómico, farmacéutico y como artesanía (González-Arno *et al.*, 2009), además de ser una de las especias con mayor valor económico, justo después del azafrán (Osorio, 2012). Aun siendo México centro de origen de la vainilla, la producción de la misma no es capaz de mantenerse en competencia con otros países que también la producen, como Madagascar e Indonesia, esto principalmente debido a que cada vez son más los productos de origen sintético que son de costo mucho más bajo, entre otros factores que no favorecen la producción de dicha orquídea está el poco conocimiento del manejo de la misma y el cambio climático (Luis-Rojas *et al.*, 2020). Entonces además de abordar el problema desde una perspectiva dónde tanto los productores como la ciencia y tecnología deben encontrar una coyuntura, también se debe considerar la implementación de innovaciones que pueden ir desde la forma en que se manejan los vainillales, la comunicación entre productores y la interacción con el sector científico y así pueda mejorar su competitividad en el mercado internacional (Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2012).

La innovación se caracteriza por ser una actividad intangible que puede ofrecer competitividad frente a las demás empresas. Implica considerar los obstáculos de diferentes índoles, así como riesgos e incertidumbres donde se ven implicados diferentes aspectos que pueden llegar a ser propios de la organización o más bien de orden externo. Implementar la innovación dentro de un grupo o empresa, significa crecer, progresar y desarrollarse (Sánchez-Bueno, 2008). Según

Cilleruelo (2007), para hablar de innovación se deben considerar cinco factores importantes: introducir al mercado un nuevo bien; nuevo método de producción, un mercado nuevo en un país nuevo, nueva fuente de suministros, estructura nueva en un tipo de mercado preestablecido, llegando a la conclusión de que la innovación se puede conceptualizar como: “El resultado original exitoso aplicable a cualquier ámbito de la sociedad, que supone un salto cuántico no incremental, y es fruto de la ejecución de un proceso no determinista que comienza con una idea y evoluciona por diferentes estadios; generación de conocimiento, invención, industrialización y comercialización, y que está apoyado en un paradigma organizacional favorable, en el que la tecnología presupone un papel preponderante, y el contexto social en el que se valora la inversión en creación de conocimiento una condición necesaria”. Por otro lado, Suárez-Mella (2018) mencionan que la innovación debe ser entendida como resultado de la creación y desarrollo para bien de nuevos productos y patentes también es indispensable considerar el aspecto social y ambiental que se adapte a la sociedad globalizada en la que vivimos al día de hoy.

En este sentido, con el objetivo de disminuir la incertidumbre antes de implementar una nueva tecnología como método para aumentar el beneficio económico entre los productores de vainilla. A través de un estudio de caso, es primordial considerar evaluar la rentabilidad del establecimiento del mismo, la cual se define como la relación entre los ingresos y costos que se generan con motivo de la elaboración del producto (Cruz-Chávez *et al.*, 2016). Además, es bien sabido que al ser el cálculo de los costos e ingresos una materia un tanto complicada para ciertos agricultores que no cuentan con el conocimiento suficiente para llevarlos a acabo, esto regularmente es una actividad que se deja de lado sin saber realmente si es que se está teniendo un beneficio económico a partir de la producción de cualquier alimento (Molina de Paredes, 2017), en este caso, la vainilla.

Para que el rendimiento de la vainilla pueda verse afectado positivamente se requiere de la implementación de innovaciones tecnológicas que garanticen que el ambiente, la cultura y la sociedad sean capaces de aplicar dicha innovación. Debido a que el rendimiento de la vainilla en pequeños productores es bajo, en el presente trabajo se planteó como objetivo evaluar económicamente en la producción de vainilla, el beneficio-costo y la ganancia que obtienen los productores considerando tres sistemas de producción, mediante la estimación de costos de producción. En el que se considera como antecedente la innovación tecnológica del estudio de la

aplicación de agua de coco a diferentes concentraciones en los frutos de la vainilla, y en el que se evaluó el efecto en la producción de materia seca e incremento del peso de los frutos.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Método de análisis: Estudio de caso del cálculo de la rentabilidad

El estudio de caso a pesar de que se considera un método cualitativo y no cumple con todos los criterios de un método cuantitativo, es una alternativa valiosa que puede dar como resultado una combinación entre fuentes cualitativas y también cuantitativas, ya que con este tipo de investigación se busca encontrar la relación entre variables propuestas para el análisis como el fenómeno de estudio. Lo anterior se convierte en un estudio descriptivo y/o exploratorio, que da sus mejores resultados con la obtención de teorías para temas que son nuevos, una de las ventajas que tiene el realizar un estudio de caso es que puede estudiarse sólo un caso o varios de ellos. Aunque aparentemente puede parecer sencillo realizar un estudio de caso, hay cinco puntos que deben ser considerados con el fin de obtener toda la información necesaria y de esta manera hacer un correcto análisis de los resultados recopilados (Yin, 1989), estos son: preguntas de investigación; proponer teorías, establecer cuáles serán las unidades de análisis; hacer una vinculación congruente de las respuestas obtenidas con las teorías planteadas y por último, establecer cuáles serán los criterios para el análisis de los datos obtenidos. En este sentido, una propuesta de protocolo para el estudio de caso es abordar cuatro puntos (Sarabia, 1999): 1) Semblanza del estudio de caso; 2) Preguntas del estudio de caso; 3) Procedimientos a ser realizados; 4) Guía del reporte del estudio de caso, sin dejar de lado que uno de los factores de vital importancia es la selección de la muestra. De acuerdo con Martínez y Piedad (2006) recomiendan considerar casos que posiblemente puedan replicar lo obtenido durante el estudio, donde el tamaño de la muestra está sujeto al criterio del investigador. Entonces, para realizar el análisis de los datos recolectados debe buscarse como fin hacer una descripción de lo comprendido a lo largo de toda la investigación, sin importar si estos son demasiado diferentes a lo que pudiese existir en la literatura, ya que es por ello que se le llama “estudio de caso”.

Descripción de la región de estudio

El estudio se llevó a cabo durante el 2019, en una plantación de vainilla con tutores inertes (bambú) bajo el sistema de malla sombra de 4 y 3 años de edad, según la ubicación dentro del vainillal. La

malla que se utilizó es de 50 % de sombra en invierno y principios de primavera y en la segunda mitad de la primavera, verano y otoño otra malla sobrepuesta de similares características. El vainillal consta de un área de 40 x 20 m haciendo un total de 800 m², se encuentra ubicado en la localidad de Paso de Barriles, Gutiérrez Zamora, Veracruz con una ubicación de longitud: - 97.123611 y latitud: 20.443056 a una altura de 20 metros sobre el nivel del mar (Figura 3.1) (Google, s.f.).

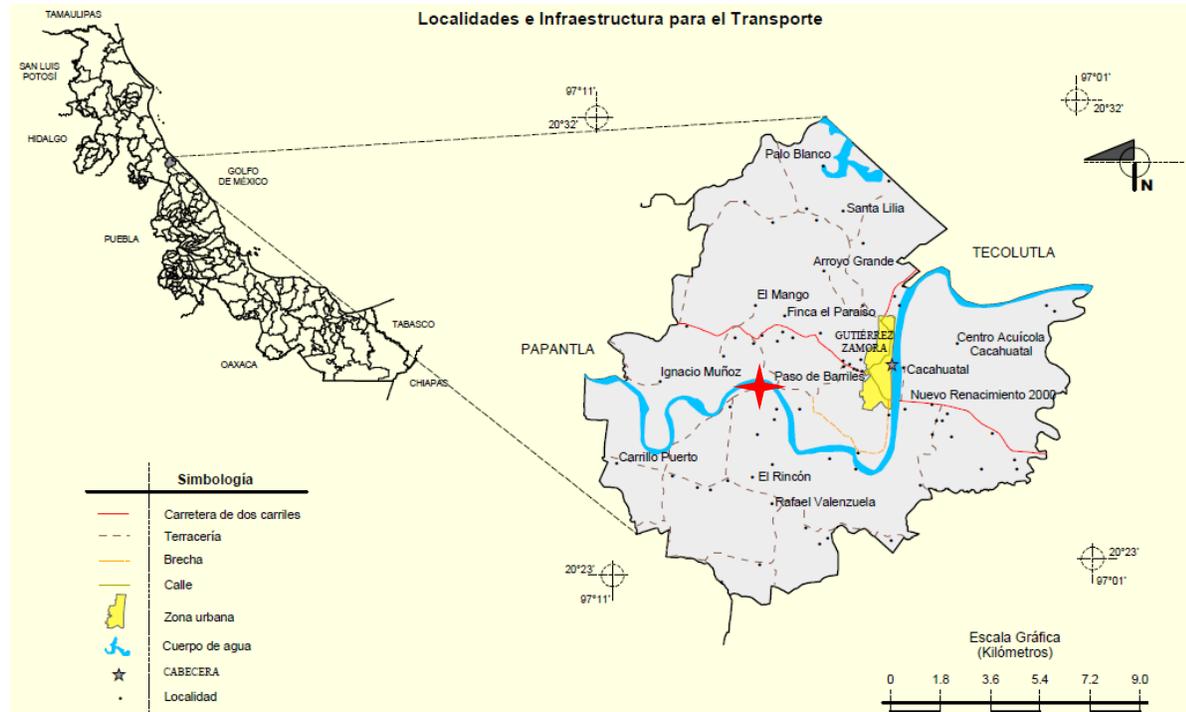


Figura 3.1 Mapa de ubicación de la región de estudio (★): Localidad de Paso de Barriles en el municipio de Gutiérrez Zamora, Veracruz) (Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1) (INEGI 2009).

De acuerdo con el INEGI (2009), el tipo de relieve que se encuentra en el sitio de estudio corresponde en su mayoría a lomerío, clima cálido subhúmedo con abundantes lluvias en verano. La roca es sedimentaria, que se formaron a partir de la precipitación y acumulación de materia mineral y la compactación de restos vegetales y/o animales. Estos sedimentos se acumulan en una capa sobre otra hasta formar una roca (Servicio Geológico Mexicano, 2017). Los suelos

dominantes en esta zona son de tipo regosol los cuales se caracterizan por ser sueltos débilmente desarrollados a base de minerales (Bautista-Zúñiga *et al.*, 2010). Respecto a la precipitación, INEGI (2009) reporta una precipitación promedio entre 1400 y 1600 mm al año.

Ubicación de los sitios de estudio

Una vez seleccionado el vainillal, se hizo una selección de surcos para ubicar los sitios. De esta forma, dentro del vainillal se ubicaron dos sitios, el Sitio 1 del lado norte con 4 años de edad, que incluyó un camellón de 24 m más un tercio de 8 m de otro camellón, y el Sitio 2 del lado sur con 3 años de edad, que incluyó dos camellones de 14.5 m cada uno, todos los camellones tenían 60 cm de ancho. Esto con el fin de realizar una comparación del posible efecto de los tratamientos en diferentes ubicaciones dentro del mismo vainillal. En ambos sitios se registraron las variables ambientales (temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa) durante todo el ciclo de cultivo.

Método de análisis: Estudio de caso, cálculo de la rentabilidad

En la contabilidad de una empresa agropecuaria, y en particular para este estudio, como es el caso de la contabilidad de una unidad de producción multiproducto, es importante distinguir entre costos contables y costos económicos. Los costos contables son los costos en que incurre la unidad de producción por la compra de insumos y activos a precios de mercado, también les llamamos costos monetarios.

El análisis económico se ocupa de los costos de oportunidad que están relacionados con una hipótesis básica de la economía: los recursos son escasos. En este sentido, los recursos deben utilizarse en la actividad que mayor retorno genera para la sociedad. Existen diversas clasificaciones de costos contables y económicos. En términos económicos la primera clasificación que atiende a la forma como se trasladan los costos al producto final divide el Costo Total (CT) en Costos Fijos (CF) y Costos Variables (CV), como se indica en la siguiente ecuación:

$$CT = CF + CV \quad (1)$$

Una vez obtenido el costo total y considerando el ingreso total, se calcula la maximización de la ganancia de la siguiente manera:

$$\text{Maximización de la ganancia} = \text{Ingreso total} - \text{Costo total} \quad (2)$$

Así para saber cuál es el beneficio-costo obtenido se realiza la siguiente operación:

$$\text{Beneficio-costo} = \text{Ingreso total} / \text{Costo total} \quad (3)$$

Los costos fijos son aquellos cargos que asume la unidad de producción independientemente de su nivel de producción, incluyendo la opción de cero producciones. Los costos variables son aquellos que cambian en función del nivel de producción de la unidad de producción. El costo medio es el resultado de dividir el costo total entre el volumen de producción. El costo marginal es el incremento en el costo total derivada de la producción de una unidad adicional de producto.

Una característica importante de los costos promedio es el comportamiento de los costos fijos y los costos variables. A medida que el nivel de producción se incrementa, los costos fijos transmiten una porción cada vez menor al producto, es decir son “variables en términos unitarios”, mientras que los costos variables se transmiten siempre en la misma proporción al producto (Nicholson, 2012).

La utilidad total es igual al ingreso total menos el costo total; ambos son función del nivel de producción. El ingreso total máximo se encuentra cuando el ingreso marginal se iguala al costo marginal, es decir cuando el ingreso marginal es igual a cero. De esta forma, el costo mínimo se establece en el nivel de producción en que el costo medio y el costo marginal se interceptan, por tanto, en el punto de máxima utilidad las pendientes de las curvas de ingreso total y de costo total son iguales. Una técnica básica pero útil para conocer lo anterior es el denominado punto de equilibrio.

Descripción de la innovación tecnológica

El experimento consistió en la aplicación de cuatro tratamientos con 10 repeticiones, cada uno, cada repetición consistió de un metro lineal de plantas. En el tratamiento 1 (T1) las plantas se asperjaron con agua potable al 100%, el tratamiento 2 (T2), consistió en asperjar las plantas con una solución de agua de coco al 50%, en el tratamiento 3 (T3), las plantas se asperjaron con 100% agua de coco y en el tratamiento 4 (T4), las plantas se asperjaron con un bioestimulante, Megafol® (Valagro) en la dosis recomendada por el fabricante (3 ml L⁻¹). La aspersion por cada aplicación se realizó con un volumen de 400 mL para cada tratamiento, por las mañanas de 9 a 10 am a las dos semanas del inicio del periodo de floración, y cada dos semanas durante tres meses.

Muestra y trabajo de campo

Con el objetivo de analizar el beneficio-costo para los productores de la adopción de la innovación nutricional en el incremento en producción, se tomó en cuenta un tamaño de muestra de 10 productores con diferentes sistemas de producción (acahual, malla-sombra, vainilla como vegetación primaria, vainilla como vegetación secundaria). Se contactó a productores con los que se había trabajado previamente en otros proyectos, pero también se asistió a las reuniones que los productores tenían con el objetivo de fijar el precio de la vainilla en verde, momento que se aprovechó para interactuar con ellos y solicitar su apoyo para aplicarles el cuestionario que se preparó. El cual consistió de preguntas abiertas y cerradas, agrupadas en ocho secciones (Ver anexo 3.1A).

Variables utilizadas para el análisis beneficio-costo

Las variables para el análisis del costo beneficio se centró en evaluar el efecto de la aplicación de tratamiento a base de agua de coco a diferentes concentraciones y en hacer un cuestionario a 10 productores propietarios de vainillales con diferentes sistemas de manejo y áreas de producción. Así, el cuestionario se basó en 101 preguntas, algunas abiertas y otras cerradas, de las cuales 12 preguntas fueron relacionadas al sistema de cultivo, 11 a densidad de plantas, 6 a conducción de plantas, 17 apoda de la planta, 15 fertilización del vainillal, 19 relacionadas con el manejo de plagas y enfermedades, 13 relacionadas con el agua de coco, 8 relacionadas con la cosecha de los frutos en verde.

Análisis de la información

La información fue registrada y procesada en una hoja de cálculo del programa Excel. El cálculo de los costos fijos, costos variables, costo total se realizó a partir del análisis de los cuestionarios aplicados a los 10 productores. Una vez obtenido el costo total se calculó la ganancia total, y por último y no menos importante se obtuvo el beneficio-costo, mediante las ecuaciones 1, 2 y 3, anteriormente descritas.

3.3 RESULTADOS

Los productores de vainilla que se consideraron para la aplicación de los cuestionarios fueron: cuatro productores con vainillales bajo el sistema de cultivo en malla-sombra, tres con producción de naranjo y tres productores con producción en acahual.

Para el cálculo del costo total, en la aplicación de la fórmula se tomaron en cuenta los costos variables y fijos. En el caso del costo fijo se involucraron los siguientes conceptos de costo por año: costo de sistema de riego, costo de instalación del sistema de riego, costo de las herramientas utilizadas, costo del equipo utilizado para fertilización orgánica, costo de equipo utilizado para fertilización química, equipo utilizado para la aplicación de agua de coco (Cuadro 3.1). De estos datos se observa que en los vainillales el costo fijo total varía desde US \$3.37 hasta US \$2988.75, esta diferencia se debe principalmente al tipo de mantenimiento que se le da al vainillal. Por ejemplo, según el cuestionario el productor 1 del sistema en acahual únicamente invierte US \$3.37 en el cuidado del mismo, no cuenta con sistema de riego, por lo tanto, es de temporal, además de que no aplica ningún tipo de fertilización, lo que resulta en una inversión mínima. Lo anterior contrasta con los gastos que tiene en su vainillal, el productor 2 bajo producción en malla-sombra, ya que el monto de la inversión es aproximadamente 100 veces mayor que los que tiene el productor 1 bajo acahual (Cuadro 3.1).

La información obtenida del cuestionario muestra que los mayores gastos del productor están involucrados con los cuidados del cultivo, sobre todo en lo que compete a un buen sistema de riego, donde los gastos pueden ir desde US \$0.58 (debido a que el equipo que utiliza para regar el vainillal es una garrafa) hasta US \$2945.50 al año (donde el sistema de riego es tecnificado), y un buen mantenimiento en cuanto a poda y fertilización orgánica (Cuadro 3.1). Por otro lado, cabe mencionar que solo al productor 1 en el cultivo en malla-sombra le generó un gasto la aplicación de agua de coco ya que fue con quién se aplicaron los tratamientos de agua de coco con el propósito de saber cuál era el efecto de su aplicación.

Cuadro 3.1 Costos fijos de los diferentes productores entrevistados en la región del Totonacapan en Veracruz.

Sistema de producción/ productor	Costo fijo (US\$)						CFT (US \$)
	Sistema de riego	Poda	Fertilización orgánica	Fertilización química	Agua de coco		
Malla-sombra	1	123	159.06	17.67	35.35	4.90	173.33
	2	2,946	294.55	17.67	0.00	0	2988.78
	3	687	0.00	29.46	0.00	0	697.10
	4	1,571	58.91	9.82	0.00	0	1574.26
Naranja	1	0	58.91	19.64	0.00	0	7.25
	2	74	294.55	16.69	0.00	0	122.83
	3	29	208.64	19.64	0.00	0	57.61
Acahual	1	0	137.46	19.64	0.00	0	3.32
	2	15	68.73	14.73	0.00	0	19.22
	3	1	85.91	24.55	0.00	0	27.30

El costo en dólares está expresado según el tipo de cambio al día 20 de julio de 2021, según BANXICO. CFT= costo fijo total

Por otro lado, dentro de los costos variables por cada año están: costo de mano de obra de riego, costo de mano de obra de cuidados de la vainilla, costo de mano de obra de la conducción de las plantas, costo del jornal para podar los vainillales, costo de mano de obra para el reforzamiento del vainillal, costo de mano de obra para la aplicación de fertilizantes orgánicos, costo de mano de obra para la aplicación de fertilizantes químicos, costo de fertilizantes orgánicos, costo de

fertilizantes químicos, costo de productos para el control de plagas, costo de productos para el control de enfermedades, costo de mano de obra para el control de plagas, costo de mano de obra para el control de enfermedades, costo del coco (*Cocos nucifera* L.) y costo de la mano de obra para realizar la cosecha del vainillal (Cuadro 3.2).

En cuanto a costos variables que son lo que incluye principalmente los costos de mano de obra y de productos tales como fertilizantes, plaguicidas y fungicidas entre otros. La inversión que mencionaron los 10 productores entrevistados va desde \$558.17.00 USD hasta \$4,684.29 USD. En particular, los productores que mantienen su vainillal bajo malla-sombra son los que invierten más dinero en mano de obra y productos para el cuidado del mismo ya sean de origen químico u orgánico, de tal forma que la inversión que este grupo de productores realiza va desde alrededor de \$2,592.53 USD hasta \$4,684.29 USD. En general se observa que, en todos los casos, la mayor parte del presupuesto está invertida en mano de obra, que al ser un trabajo muchas veces realizado por la misma familia, el gasto no es tangible, aunque de todas maneras esté representando un gasto fuerte para los productores de vainilla.

Cuadro 3.2 Costos variables de los diferentes productores entrevistados en la región del Totonacapan en Veracruz.

Sistema de producción/ productor	Costo variable (US \$)						Costo variable total (US \$)	
	Mano de obra	Fertilizantes químicos	Fertilizantes orgánicos	Productos plaguicidas	Productos contra enfermedades	Precio coco		
Malla-sombra	1	3463.91	1.96	0	49.09	4.90	73.63	3538.29
	2	2587.62	0	0	0	4.90	0	2592.54
	3	4663.18	0	0	17.18	3.92	0	4684.29
	4	2836.42	0	17.18	13.25	13.25	0	2880.12
Naranja	1	2277.31	0	17.18	9.81	0	0	2304.32
	2	554.24	0	0	3.92	0	0	558.17
	3	776.04	0	0	0	4.90	0	780.95
Acahual	1	2017.67	1.96	0	0	0	0	2019.64
	2	1890.42	0	0	3.92	10	0	1894.85
	3	1484.04	0	0	3.92	3.92	0	1491.90

El costo en dólares está expresado según el tipo de cambio al día 20 de julio de 2021, según BANXICO.

De los resultados del cálculo de la ganancia (Cuadro 3.3), se evidencia que el productor 1 que cultiva la vainilla en malla-sombra, y con el que se realizó el experimento de la aplicación del agua de coco, obtuvo la mayor ganancia, aunque en relación al beneficio-costo, obtuvo un valor similar al del productor 1 que cultiva en acahual. Mientras que el productor 3 bajo sistema de producción en naranjo obtuvo el mayor beneficio-costo (12.29) en comparación con los demás productores. La producción de vainilla en malla-sombra fue la que mostró los mayores contrastes tanto en la ganancia como en el beneficio-costo, ya que incluso el productor 3 aún tiene un adeudo de un préstamo por la implementación del sistema de riego, ya que tiene poco tiempo (tres años) de haber establecido su vainillal, por lo que la inversión en un inicio puede llegar a ser alta, lo que conlleva que incluso pueda tener pérdidas. Los datos muestran que las características del productor 2 en naranjo y del productor 1 en acahual también pueden tener ganancias importantes (Cuadro 3.3).

En cuanto al beneficio-costo de la vainilla, lo que se encontró en este estudio de caso es muy similar a lo obtenido por Barrera-Rodríguez (2011), quien menciona que haciendo una comparación entre los sistemas de producción de vainilla bajo naranjo y malla-sombra, aquel que muestra una mejor rentabilidad económica son aquellos que prevalecen bajo naranjo.

De acuerdo con Santillán-Fernández *et al.* (2017), se considera que la vainilla no tiene competitividad debido a la falta de territorio sembrado, pero además también debería considerarse que, aunque haya espacios propios en cuanto clima y suelo para la vainilla debe haber paquetes tecnológicos que instruyan de manera adecuada a los productores, sobre cuál debe ser el manejo de la vainilla sin pasar por alto una buena nutrición, que deje de lado el uso de fertilizantes químicos que dañan cada vez con más intensidad al ambiente.

Cuadro 3.3 Beneficio-costo y ganancia de los vainillales ubicados en la región del Totonacapan en el estado de Veracruz.

Sistema de producción/ productor	CF	CV	CT	Ingreso total	Beneficio-costo	Ganancia	
(US \$)							
	1	173	3,538	31,974	18900.34	5.09	15133.48
Malla-sombra	2	2,989	2,593	49,232	8836.52	1.58	3255.21
	3	697	4,684	46,547	2945.51	0.55	-2435.89
	4	1,574	2,880	38,949	10309.28	2.31	5854.90
	1	7	2,304	19,871	6872.85	2.97	4561.29
Naranja	2	123	558	5,905	6872.85	10.09	6191.85
	3	58	781	7,232	10309.28	12.29	9470.71
	1	3	2,020	17,389	10309.28	5.10	8286.32
Acahual	2	19	1,895	16,459	3436.43	1.80	1522.36
	3	27	1,492	13,069	6872.85	4.52	5353.66

El costo en dólares está expresado según el tipo de cambio al día 20 de julio de 2021, según BANXICO. CF= Costo fijo total, CV= Costo variable total; CT= Costo total.

Si bien es cierto que México es centro de origen de la vainilla y esto debería ser una gran oportunidad para sacarle provecho, la realidad es que cada año la competencia que se puede ofrecer cada vez disminuye por diversos factores, como pueden ser el cambio climático, falta de apoyos económicos e innovaciones tecnológicas. Es por ello que según los resultados obtenidos en este estudio se sugiere que se realicen futuras investigaciones acerca de la aspersión de agua de coco

en etapa temprana de la floración para que este se vea reflejado en el rendimiento de la vainilla y en este sentido también en el beneficio económico que el productor pudiese llegar a obtener.

3.4 CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en los estudios de caso analizados en este trabajo se concluye que el productor 1 que cultiva la vainilla en malla-sombra y que implementó la aplicación de agua de coco en su vainillal, obtuvo la mayor ganancia. Aunque el productor 3 que produce la vainilla en naranjo obtuvo el mejor beneficio-costo.

Este estudio mostró que las innovaciones tecnológicas, de seguir un proceso adecuado de difusión y adopción, pueden ser una forma adecuada para mejorar la ganancia y la rentabilidad de la producción de vainilla en México. Lo que sugiere que la implementación de la innovación de la aplicación del agua de coco podría tener un beneficio en todos los sistemas de producción de la vainilla, tanto en el costo de producción como en la ganancia, lo cual podría evaluarse en un próximo estudio.

3.5 LITERATURA CITADA

- Barrera-Rodríguez, A. I., Herrera-Cabrera, B.E., Jaramillo-Villanueva, J. L., Escobedo-Garrido, J.S. y 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 Agrosystems*, 10: 199-212.
- Barrera-Rodríguez, A.I. Jaramillo-Villanueva, J. L., Escobedo-Garrido, J.S. y 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: 625-638.
- Cilleruelo, E. (2007). Compendio de Definiciones del Concepto “Innovación” Realizadas por Autores Relevantes: Diseño Híbrido Actualizado del Concepto. *Revista de Ingeniería de Organización*. 34: 91-98.
- Cruz-Chávez, P.R., Torres-García, A.F., Cruz-Chávez, G.R. y Juárez-Mancilla, J. (2016). Metodología para medir la rentabilidad de un proyecto de inversión: Estudio de caso de agua. *Ciencias*, 28: 1-11.

- FAOSTAT. (2017). Producción. Obtenido de <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S> (05 de enero 2021).
- González–Arnao M. T., Lázaro–Vallejo C.E., Engelmann F., Gómez–Pastrana R., Martínez–Campo Y.M., Pastelin–Solano M.C. y Díaz–Ramos C. (2009). Multiplication cryopreservation of vanilla (*Vanilla planifolia*, “Andrews”) In Vitro Cellular and Developmental Biology Plant, 45: 574-582
- Jaramillo-Villanueva, J. L., Escobedo-Garrido, J. S. y Barrera-Rodríguez, A. (2012). Competitividad de Sistemas de Beneficiado de Vainilla (*Vanilla Planifolia* J.) en la Región del Totonacapan, México. Panorama Socioeconómico, 30: 80-93.
- Martínez, C. y Piedad, C. (2006) El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. Pensamiento & Gestión, 20: 165-193.
- Menchaca-García, R. A. (2015). La vainilla. Revisa de Divulgación Científica y Tecnología de la Universidad Veracruzana, 22.
- Molina de Paredes, O. R. (2017). Rentabilidad de la producción agrícola desde la perspectiva de los costos reales: municipios Pueblo Llano y Rangel del estado Mérida, Venezuela. Visión Gerencial, 2: 217-232.
- Nicholson, W. y Nyder, C. (2012) Microeconomic Theory: Basic principles and extensions. 11° edición, capítulos 4 y 11. South-Western, Cengage-Learning, USA.
- Luis-Rojas, S., Ramírez-Valverde, B., Díaz-Bautista, M., Pizano-Calderón, J. y Rodríguez-López, C. (2020). La producción de la vainilla (*Vanilla planifolia*) en México: análisis y pronóstico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11: 175-187.
- Osorio, A. 2012. Efecto de materiales orgánicos, fertilizantes e inóculos microbiales sobre el crecimiento y nutrición de plántulas de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks). Tesis MSc, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Salazar Rojas, V.M. (2011). Estrategia de uso y conservación del germoplasma de *Vanilla planifolia* Jack, en la región del Totonacapan Puebla-Veracruz. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Puebla, Pue., México. p.123.

- Sánchez-Bueno, M.J. (2008). El proceso innovador y tecnológico: Estrategias y apoyo público. Netbiblo, España: p.3.
- Santillán-Fernández, A., Salas-Zúñiga, A. y Vásquez-Bautista, N. (2017). La productividad de la vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex. Andrews) en México de 2003 a 2014. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 9: 50-69.
- Sarabia-Sánchez, F.J. (1999). Metodología para la investigación en marketing y dirección de empresas, Madrid: Pirámide.
- Yin, R.K. (1989). Case study research: Design and Methods, Applied social research Methods series, Newbury Park CA, Sage.
- Suárez-Mella, R. (2018). Reflexiones sobre el concepto de innovación. Revista San Gregorio, 24: 120-131.

ANEXOS

ANEXO 3.A CUESTIONARIO DE MANEJO DE CULTIVO DE VAINILLA (*Vanilla planifolia*)

Objetivo: Analizar el Costo-Beneficio para los productores de la adopción de la innovación nutricional (incremento en producción y calidad).

Nombre del Agricultor/productor: _____

Nombre de la localidad: _____

Fecha de colecta de datos: _____

SISTEMA DE CULTIVO

a) Acahual b) Malla sombra c) Vegetación primaria d) Vegetación secundaria

1. ¿Cuenta con sistema de riego? _____
2. ¿Qué material utilizó, en el sistema de riego? _____
3. ¿Cuál es el costo del mismo? _____
4. ¿Costo de la instalación? _____
5. ¿Cuánta mano de obra o jornal (o cuanto tiempo, medio día, un día) son requeridos para realizar esta actividad? La mano de obra o jornal utilizados, son de orden: a)Familiar; b)Contratada
6. ¿Con que frecuencia riega? _____
7. ¿Por qué? _____
8. ¿Cuánto tiempo? _____
9. ¿Por qué? _____
10. ¿Cuánto tiempo (o cantidad de jornales) invierte la persona que cuida el vainillal? _____
11. ¿Por qué? _____

DENSIDAD DE PLANTAS

12. ¿Qué tipo de tutor utiliza en su vainillal? _____
13. ¿Por qué eligió ese tutor? a) Por la sombra; b) Follaje: c) Porque es fuerte; d) Porque crece rápido; e) Porque era el que tenía; d) Alguna creencia asociada (especificar)
14. ¿Cuál es la distancia entre tutores en el camellón? _____
15. ¿Cuál es la distancia entre tutores entre camellones? _____
16. ¿Cuál es el número de tutores? _____
17. ¿Número de plantas por tutor? _____
18. ¿Área total del vainillal? _____
19. ¿Hay aborto de fruto (flor) en su vainilla (¿cuándo? A la semana DDP, A los dos meses DDP, A los 6-7 meses DDP)? _____

20. Dependiendo del momento en el que haya ocurrido la caída de fruto (flor), ¿a qué lo atribuye? _____
21. ¿En qué porcentaje considera usted que existe la caída de fruto (¿Cuándo? A la semana DDP, A los dos meses DDP, A los 6-7 meses DDP)? _____
22. ¿Sabe la cantidad de pérdidas económicas que este fenómeno representa en su vainilla, en un ciclo productivo o año? _____

CONDUCCIÓN

23. ¿Cada cuántas semanas le da conducción a las plantas de vainilla? _____
24. ¿Por qué? _____
25. ¿A qué altura le da conducción a la punta de la guía hacia abajo? _____
26. ¿Por qué? _____
27. ¿Cuánta mano de obra (o cuanto tiempo, medio día, un día) es requerida para realizar esta actividad? _____
28. ¿Costo de mano de obra? _____

PODA

29. ¿Qué tipo de tutor tiene? ¿Vivo o inerte? _____

Si se trata de un tutor vivo, responda las siguientes preguntas (hasta la 36).

30. ¿Con que frecuencia poda los tutores? a) Una vez al año; b) Dos veces al año; c) Más de dos veces al año
31. ¿Por qué? _____
32. ¿Con que intensidad realiza la poda (en función de la sombra o de la luz que deja pasar)?
a) Poda severa; b) Poda de saneamiento; c) Poda de estructura
33. ¿Por qué? _____
34. ¿Cuánta mano de obra (o cuanto tiempo, medio día, un día) es requerida para realizar esta actividad? _____
35. ¿Qué herramientas se utilizan? _____
36. ¿Qué ventajas o desventajas tiene su tutor? _____

Si se trata de un tutor inerte (muerto), responda las siguientes preguntas (hasta la 43).

37. ¿Con que frecuencia renueva los tutores? a) Una vez al año; b) Dos veces al año; c) Más de dos veces al año
38. ¿Por qué? _____
39. ¿Con que intensidad realiza el reforzamiento de su estructura de soporte? a) Ligera; b) Mediana; c) Intensa
40. ¿Por qué? _____
41. ¿Cuánta mano de obra (o cuanto tiempo, medio día, un día) es requerida para realizar esta actividad? _____
42. ¿Qué herramientas se utilizan? _____
43. ¿Qué ventajas o desventajas tiene su tutor? _____
44. ¿Cuál sería su tutor ideal? _____
45. ¿Por qué? _____

FERTILIZACIÓN (Las preguntas son para el total del área de su vainillal)

46. ¿Realiza fertilización en su vainillal? _____
47. ¿Qué tipo de fertilización realiza? a) Orgánica; b) Química

En caso de no aplicar fertilización orgánica, omita las preguntas de la 50 a las 55.

48. ¿Qué productos aplica en fertilización orgánica? _____
49. ¿Qué cantidad aplica de fertilizantes orgánicos? _____
50. ¿Por qué aplica dicha cantidad de fertilizante orgánico? _____
51. ¿Con qué frecuencia se realizan las aplicaciones de los fertilizantes orgánicos? _____
52. ¿Sabe cuál es el costo de los fertilizantes orgánicos que utiliza? _____
53. ¿Qué equipo utiliza para la aplicación orgánica? _____

En caso de no aplicar fertilización química, omita las preguntas de la 56 a las 61.

54. ¿Qué productos aplica en fertilización química? _____
55. ¿Qué cantidad aplica de fertilizantes químicos? _____
56. ¿Por qué aplica dicha cantidad de fertilizante químico? _____
57. ¿Con qué frecuencia se realizan las aplicaciones de los fertilizantes químicos? _____
58. ¿Sabe cuál es el costo de los fertilizantes químicos que utiliza? _____
59. ¿Qué equipo utiliza para la aplicación química? _____
60. ¿Cuánta mano de obra (o cuanto tiempo, medio día, un día) es requerida para aplicar los fertilizantes (ya sea orgánico o químico)? _____

PLAGAS Y ENFERMEDADES (Las preguntas son para el total del área de su vainillal)

61. En lo que va del ciclo, ha habido incidencia de: a) Plagas; b) Otras enfermedades
62. ¿Nombre de las plagas que han incidido? _____
63. ¿Nombre de las enfermedades que han incidido? _____

Por favor responda las preguntas de las 66 a la 73 si ha habido incidencia de plagas en su vainillal.

64. ¿Realiza control de plagas? _____
65. ¿Qué plagas? _____
66. ¿Cómo realiza el control de las mismas? _____
67. ¿Qué producto aplica? _____
68. ¿Cuánto aplica? _____
69. ¿Por cuánto tiempo (días/semanas)? _____
70. ¿Cuánta mano de obra (o cuanto tiempo, medio día, un día) es requerida para realizar esta actividad? _____
71. ¿Cuál es el costo de los productos que aplica para el control de plagas? _____

Por favor responda las preguntas de la 74 a la 81 si ha habido incidencia de enfermedades en su vainillal.

72. ¿Realiza control de enfermedades? _____
73. ¿Qué enfermedades? _____
74. ¿Cómo realiza el control de las mismas? _____
75. ¿Qué producto aplica? _____
76. ¿Cuánto aplica? _____

77. ¿Por cuánto tiempo (días/semanas)? _____
78. ¿Cuánta mano de obra (o cuanto tiempo, medio día, un día) es requerida para realizar esta actividad? _____
79. ¿Cuál es el costo de los productos que aplica para el control de enfermedades? _____

AGUA DE COCO

80. ¿De qué lugar provienen los cocos? _____
81. ¿Qué tipo de coco es? _____
82. ¿Cómo lo identifica? _____
83. ¿Qué estado de madurez tienen los cocos? _____
84. ¿Por qué ese estado? _____
85. ¿Hay manera de saber la edad del mismo? _____
86. ¿Qué precio tiene un coco? _____
87. ¿Cuántos cocos aplica por fumigación? _____
88. ¿Cuánto tiempo se invierte en mano de obra para la aplicación de coco? _____
89. ¿Qué equipo utiliza para la aplicación? _____
90. ¿Con qué frecuencia se realizan las aplicaciones? _____
91. ¿Qué cantidad aplica? _____
92. ¿Por qué? _____

COSECHA

93. ¿A cuánto asciende la producción anual de todo su vainillal? _____
94. ¿Cuál es la cantidad de mano de obra invertida para realizar esta actividad? _____
95. ¿Se tienen que trasladar los trabajadores? _____
96. ¿Usted les provee el transporte? _____
97. ¿Tiempo de traslado? _____
98. ¿A qué lugar se traslada la materia cosechada? _____
99. ¿De cuándo es el precio de venta de vainilla en verde por kilogramo? _____
100. ¿De cuánto es el precio de venta de vainilla beneficiada por kilogramo? _____