



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

---

**CAMPUS CÓRDOBA**

POSTGRADO EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA  
SUSTENTABLE

**DETERMINACIÓN DE VARIABLES DE RENDIMIENTO  
PARA EL CULTIVO DE *Vanilla planifolia* G. Jacks EN EL  
TOTONACAPAN**

**ROSA GLORIA ROCHA FLORES**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS**

AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ

2015

---

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y  
DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **Rosa Gloria Rocha Flores**, Alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Braulio Edgar Herrera Cabrera**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Determinación de variables de rendimiento para el cultivo de *Vanilla planifolia* G. Jacks en el Totonacapan** y los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Córdoba, Veracruz a 22 de Octubre del 2015



---

Rosa Gloria Rocha Flores



---

Vo. Bo. Director de Tesis  
Dr. Braulio Edgar Herrera Cabrera

La presente tesis, titulada: **Determinación de variables de rendimiento para el cultivo de *Vanilla planifolia* G. Jacks en el Totonacapan**; realizada por la alumna: **Rosa Gloria Rocha Flores**, 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  
INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

  
\_\_\_\_\_  
DR. JOEL VELASCO VELASCO

DIRECTOR DE TESIS:

  
\_\_\_\_\_  
DR. BRAULIO EDGAR HERRERA CABRERA

ASESORA:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. ADRIANA DELGADO ALVARADO

ASESORA:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. MA. DEL CARMEN MENDOZA CASTILLO

Amatlán de los Reyes, Veracruz, México Octubre 2015.

## **Determinación de variables de rendimiento para el cultivo de *Vanilla planifolia* G. Jacks en el Totonacapan**

Rosa Gloria Rocha Flores, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015.

El cultivo de *Vanilla planifolia* G. Jacks es originario de México, sin embargo, aún presenta etapas de manejo por definir, tal es así que las 30 toneladas anuales de producción no contribuyen ni con 1% de la producción mundial de Vainilla. Por esta razón el objetivo de la presente investigación fue determinar las variables que inciden en el rendimiento del cultivo de vainilla en la región Totonacapan, México. Para ello se evaluaron 28 variables agronómicas en 24 plantas en producción, sembradas bajo malla sombra y pichoco (*Erythrina americana*), en las localidades de Pantepec, Puebla, y Primero de Mayo y Papantla, Veracruz. Los datos se analizaron bajo un análisis de varianza completamente al azar y prueba de medias con base en Tukey. A fin de conjuntar las plantas con mayor número de vainas e identificar las variables que las propician, se realizó un análisis de componentes principales y un análisis de conglomerados. Los resultados conjuntan tres grupos de plantas, el primero, de mayor rendimiento, agrupa tres colectas de Primero de Mayo y una de Papantla, el segundo, de rendimiento intermedio, incluye ocho colectas de Papantla, tres de Primero de Mayo y una de Pantepec, y el tercero, de menor rendimiento, formado por ocho plantas de Pantepec. En vainilla, las variables que inciden sobre el rendimiento son; flores totales y polinizadas, número de racimos, número de frutos, peso fresco de frutos, diámetro de vaina, ancho de vaina, número de hojas, diámetro ecuatorial de tallo, distancia entre hileras de plantas, longitud de esqueje no reproductivo e incidencia de *Fusarium* spp. El confirmar que *Vanilla planifolia* J. es una planta de metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC) permite a sus estudiosos o productores tomar decisiones oportunas al momento del manejo, considerando los horarios en los que la planta se encuentra con la mayor actividad fisiológica.

Palabras Clave: Vainilla, *Vanilla planifolia*, variables agronómicas, producción de vainas.

## **Determination of yield variables for growing *Vanilla planifolia* G. Jacks on Totonacapan**

Rosa Gloria Rocha Flores, M.S.

Postgraduate College, 2015.

The crop of *Vanilla planifolia* G. Jacks is originally from Mexico, but management continue having undefined stages, so much so that 30 tons of annual production do not contribute 1% of world production of vanilla. Therefore the aim of this research was to determine the variables that affect vanilla crop yield in the Totonacapan region, Mexico. For this 28 agronomic traits were evaluated in 24 plants in production, planted under shade netting and pichoco (*Erythrina americana*), in the towns of Pantepec, Puebla, and Primero de Mayo and Papantla, Veracruz. Data were analyzed under an analysis of variance completely random and mean test based on Tukey. In order to combine plants with the highest number of pods and identify variables that foster, principal component analysis and cluster analysis were carried out. The results clustered three groups of plants, the former had higher yield, includes three plants of Primero de Mayo and one of Papantla, the second with intermediate yield, that includes eight plants of Papantla, three of Primero de Mayo and one of Pantepec, and the third with the lower yield, consisting of eight plants of Pantepec. In vanilla crop, total and pollinated flowers, number of clusters, number of fruits, fresh fruit weight, pod diameter, pod width, number of leaves, stem equatorial diameter, distance between rows of plants, not reproductive cutting length and incidence of *Fusarium* spp were the variables that affect yield.

Keywords: Vanilla, *Vanilla planifolia*, agronomic variables, pod production.

## Dedicatoria

**En primer lugar le dedicó cada uno de mis actos al ser supremo que inexistente en el aspecto científico en mí es un apoyo existencial en todo momento.**

**A mi mamá:** Carmen Flores Quiroz quien desde lejos siempre está apoyándome y que cada palabra suya es para mí un tesoro grande, gracias porque sin esa mitad jarocho que me diste ese ADN mitocondrial no tendría la alegría en mi vida y sobre todo eres una luz en mi vida por demostrarme que de las buenas y de las malas hay que salir adelante y qué mejor que con una sonrisa.

**A mi Papá:** Alfredo Rocha Martínez porque me das tu apoyo intelectual, tus consejos y un ejemplo a seguir en el ámbito académico y sobre todo por confiar en mí a pesar de que estemos distantes y por demostrarme tu cariño a tu manera un poco seria pero de esa manera es mi otra mitad.

**A mi hermano:** Alexis Flores Quiroz porque tan pequeño me enseñas tanto y por cuidar de mi mamá, gracias.

**A Nelda:** Porque sé que detrás de cada persona seria también hay alguien que disfruta en este caso, tú eres la contraparte de mi padre, que bueno que se encontraron en el camino, gracias por cuidarse mutuamente tú y mi papá. (Aunque creo tú más a él)

**A Maty:** Porque me recibes las pocas veces que nos vemos con un abrazo y sin importar cuánto haya pasado sin verte y también por cuidar y hacerleavenita a mi papá.

**A muchi:** Gary Zamudio Rodríguez por el tiempo y espacio compartidos gratamente.

**A mis dos ejemplos a seguir en muchos aspectos:** Dr. Edgar Herrera Cabrera y Dra. Adriana Delgado Alvarado, gracias por tantas enseñanzas a lo largo de mi tesis, les tengo mucho aprecio.

**A mi tía:** Argentina Rocha Martínez porque siempre está ahí escuchándome y psicoterapeándome.

**A Abel Salas Partida:** por sus consejos, palabras de aliento, asesoría técnica y guía en muchos sentidos.

**A la Dra. Carmen Mendoza:** por su amistad y enseñanzas en campo y ardua dedicación.

**A la Sra. Dulce Torres y a Israel Juárez** por haberme permitido entrar en su hogar en San Pedro Cholula.

**A mis compañeros de camino:** Noema Román, Cristina Rivera, Tania, Ana Laura Frago, Lucina Gómez, y a mis amigos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Esta investigación fue financiada por:



**Colegio de Postgraduados Campus Córdoba y Campus Puebla**



**Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT; Beca Maestría)**



**Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el Desarrollo Rural Sustentable**



**Proyecto 2012-04-190442 “Estrategia de investigación aplicada para el fortalecimiento, innovación y competitividad de la producción de vainilla en México”**

## Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada por el Fondo Sectorial de Investigación en materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos (SNITT-CONACYT-SAGARPA: 2012-04-190442 “Estrategia de investigación aplicada para el fortalecimiento, innovación y competitividad de la vainilla en México”).

A los miembros de mi consejo particular: Dr. Joel Velasco Velasco, Dr. Braulio Edgar Herrera Cabrera, Dra. Adriana Delgado Alvarado y Dra. Ma. Del Carmen Mendoza Castillo.

Al Dr. Nicacio Cruz Huerta por su colaboración en las mediciones de fotosíntesis.

Al Dr. Fernando Castillo González por su colaboración en los análisis estadísticos.

A los productores de vainilla involucrados en la investigación: Sr. Veremundo, Sr. Edilberto Gallegos Huerta y Sr. Juan Pérez Atzin.

## CONTENIDO

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y .....	ii
Hoja de Firmas consejo particular .....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Dedicatoria.....	vi
Esta investigación fue financiada por: .....	vii
Agradecimientos .....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN GENERAL .....</b>	<b>1</b>
1.1 Justificación .....	3
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Objetivo general.....	6
1.3.1 Objetivos específicos .....	6
1.4 Hipótesis general.....	6
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1 El concepto de producción y variables de análisis.....	7
2.2 El concepto de rendimiento .....	8
2.2.1 Métodos para evaluar rendimiento.....	10
2.2.2 Modelos para estimación de rendimiento .....	11
2.3 Variables de análisis .....	14
2.3.1 Biométricas .....	14
2.3.1.1 Fotosíntesis .....	14
2.3.1.2. Estomas .....	17
2.3.2 Agronómicas.....	17
2.3.3 Climáticas .....	18
2.4 Generalidades del cultivo.....	18
2.4.1 Origen y distribución .....	18
2.4.2 Importancia del cultivar .....	18
2.4.3 Características generales del cultivo.....	19
2.4.4 Características botánicas de la vainilla .....	20
2.5 Manejo Agronómico de la Vainilla.....	21
2.5.1 Etapas del desarrollo de la Vainilla .....	21
2.5.2 Sistemas de producción y propagación.....	22

2.5.3 Sombreado .....	23
2.5.4 Tutores .....	23
2.5.5 Prácticas culturales.....	24
2.5.6 Sustratos orgánicos .....	24
2.5.7 Cosecha .....	25
2.5.8 Manejo post cosecha .....	25
2.5.9 Normas de calidad del fruto.....	25
2.6 Requerimientos climáticos del cultivo de la vainilla .....	26
2.6.1 Temperatura .....	26
2.6.2 Precipitación .....	26
2.6.3 Altitud .....	26
2.6.4 Luz-sombra .....	27
2.7 Requerimientos edáficos del cultivar.....	27
2.8 Requerimientos nutricionales del cultivar .....	27
III MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
3.1 Descripción del sitio de estudio .....	29
3.1.1 Ejido Carrizal Viejo, Pantepec, Puebla.....	29
3.1.2 Papantla.....	32
3.2 Caracterización de ambientes agroecológicos.....	36
3.2.1 Material vegetal .....	36
3.3 Determinación de rendimiento .....	36
3.3.1 Variables Agronómicas y morfológicas.....	39
3.3.2 Variables Fisiológicas.....	42
3.3.3 Variables Climáticas .....	43
3.3.4 Características físicas y químicas de suelo .....	43
3.4 Diseño experimental.....	44
3.4.1 Análisis estadístico.....	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
4.1 Variables Agronómicas.....	45
4.1.1 Componentes principales .....	52
4.1.2 Análisis de conglomerados .....	60
4.2 Variables fisiológicas.....	64
4.2.1 Índice estomático .....	67

4.3 Variables climáticas .....	70
4.4 Edáficas.....	74
V. CONCLUSIONES .....	77
VI. LITERATURA CITADA.....	78

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Sitios de Estudio y sus características.....	45
<b>Cuadro 2.</b> Características climáticas de las tres localidades utilizadas en la caracterización de ambientes agroecológicos.....	51
<b>Cuadro 3.</b> Variables agronómicas evaluadas en los tres sitios de estudio del Totonacapan Puebla-Veracruz.....	52
<b>Cuadro 4</b> Variables fisiológicas evaluadas en el Huerto 20 soles en Papantla, Veracruz.....	53
<b>Cuadro 5</b> Variables climáticas evaluadas en los tres sitios de estudio del Totonacapan.....	53
<b>Cuadro 6.</b> Variables Edáficas evaluadas en los tres sitios de estudio del Totonacapan.....	53
<b>Cuadro 7.</b> Escala de severidad de <i>Fusarium</i> spp. en Vainilla.....	55
<b>Cuadro 8.</b> Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios por sitio y sitio (planta) de las 28 variables agronómicas de vainilla en los tres sitios de estudio del Totonacapan.....	60
<b>Cuadro 9</b> Medias para cada una de las 28 variables agronómicas evaluadas en los tres sitios del Totonacapan para <i>Vanilla planifolia</i> G. Jacks.....	63
<b>Cuadro 10.</b> Medias y coeficientes de variación de las cuatro variables consideradas para el Peso en (g) en los tres sitios de estudio del Totonacapan Puebla-Veracruz.....	64
<b>Cuadro 11</b> Valores de medias por planta de las cuatro variables de peso de fruto (g) en los tres sitios del Totonacapan Puebla-Veracruz.....	65
<b>Cuadro 12.</b> Valores Propios, Vectores propios y Proporción acumulada de las variaciones explicadas por cada variable en las primeras tres dimensiones de las 28 variables agronómicas de <i>V. planifolia</i> en el Totonacapan.....	67
<b>Cuadro 13.</b> Fechas de Floración, Días a Floración, Días a cosecha y Número de cortes en los tres sitios de estudio.....	75
<b>Cuadro 14.</b> Índices estomáticos por hoja en Vainilla en invernadero.....	80
<b>Cuadro 15.</b> Características de Textura de suelo en las 3 localidades.....	86
<b>Cuadro 16.</b> Características Fisico – Químicas de suelo de las 3 localidades.....	87
<b>Cuadro 17.</b> Macro y Micronutrientes en suelo de las 3 localidades.....	87

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> El proceso de fijación de CO <sub>2</sub> por una planta MAC . Los estomas abiertos durante la noche permiten el ingreso de CO <sub>2</sub> que se acumula como grupo carboxilo del oxalacetato (Karp 1996; Lehninger <i>et al.</i> 2009). .....	31
<b>Figura 2.</b> a. Estoma (e) con células guardia de lumen triangular y cámara subestomática. (csb) de igual tamaño a células de mesófilo adyacentes, leves proyecciones cuticulares. internas (pc). cutícula adaxial levemente abollada (cad) en <i>Elleanthus oliganthus</i> Imagen de Arevalo <i>et al.</i> (2011). b. Localización de estomas en epidermis y distribución de cutina <i>O. ficus indica</i> (1200x) imagen de Silva <i>et al.</i> (2001). .....	32
<b>Figura 3.</b> Mapa de ubicación de sitios de estudio. ....	43
<b>Figura 4.</b> Superficie de la parcela en estudio en la localidad Carrizal Viejo, Pantepec, Puebla...45	
<b>Figura 5.</b> Superficie de la Parcela en Estudio en 1 de Mayo, Papantla, Veracruz.....48	
<b>Figura 6.</b> Superficie de parcela en estudio en 20 soles, Papantla, Veracruz.....49	
<b>Figura 7.</b> Dispersión de las plantas en los tres sitios de estudio del Totonacapan de acuerdo a las 28 variables Agronómicas evaluadas.....69	
<b>Figura 8.</b> Dendrograma de las colectas en los tres sitios de estudio con base en las 28 variables evaluadas.....74	
<b>Figura 9.</b> Actividad fotosintética en distintos horarios en la etapa de Reposo vegetativo en el mes de Enero 2014 en el Huerto 20 soles, Papantla, Veracruz.....77	
<b>Figura 10.</b> Actividad fotosintética en distintos horarios durante la etapa de llenado de fruto en el mes de Mayo 2014 en el Huerto 20 soles, Papantla, Veracruz.....79	
<b>Figura 11.</b> Morfología de estomas y células epidérmicas en la superficie abaxial de hoja de Vainilla a 40x.....81	
<b>Figura 12.</b> Temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales, humedad relativa e intensidad luminosa en Papantla durante el ciclo 2013-2014.....82	
<b>Figura 13.</b> Temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales, humedad relativa e intensidad luminosa en Primero de Mayo durante el ciclo 2013-2014.....83	

**Figura 14.** Temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales, humedad relativa e intensidad luminosa en Pantepec durante el ciclo 2013-2014.....84

**Figura 15.** Dendrograma de las caracterizaciones de ambientes agroecológicos en los tres sitios de estudio.....86

## I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El rendimiento de los cultivos es influenciado por varios factores: agua (Gao *et al.* 2014; Gómez-Paccard *et al.* 2015) suelo (Liu *et al.* 2014; Zhang 2015) nutrientes (Zegbe *et al.* 2014), condiciones estacionales del clima (Solomon *et al.* 2007; Voloudakis *et al.* 2015), plagas y enfermedades (Willoquet, 2008; Blas y Petrescu, 2009), y por numerosas decisiones de manejo como sistema de cultivo, tipo de cultivar, grado de mecanización, fertilización, riego, y pesticidas (Phene *et al.* 1987; Hanson y May, 2006; Ma *et al.* 2013).. Además, actualmente se observan tendencias del clima que pueden influenciar el rendimiento de los cultivos, debido a incrementos de temperatura y en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> y un cambio en la distribución de la precipitación a lo largo del año, especialmente durante el periodo de crecimiento (Olesen *et al.* 2011).

La vainilla (*Vanilla planifolia* G. Jack.) es una especie aromática de la familia Orchidaceae, originaria de México y Centro América. Es una de las pocas plantas que su presencia en el país está documentada desde los años 1427 - 1440, período durante el que los aztecas conquistaron el imperio totonaca, y recibieron a la vainilla como tributo (Bruman 1948). El pueblo totonaco era reconocido como productor de vainilla de excelente calidad y continuó siendo el principal productor hasta mediados del siglo XIX, ya que durante 300 años solo se producía en México (Toussaint-Samat 2002). Hoy en día, la vainilla es considerada a nivel mundial, el saborizante natural de mayor importancia en industrias como la refresquera, tabacalera, repostería, cosmética y perfumería (Korthou y Verpoorte 2007). Es la segunda especie cultivada más costosa del mundo, después del azafrán (Sachan 2005).

En los últimos 20 años la producción de vainilla en México se ha visto limitada por factores adversos como: caída prematura del fruto (Castillo 1993; Curtí 1989; 1995; Sánchez 1997; Soto-Arenas 1999; 2003; 2006) nutrición deficiente (Soto-Arenas 2006; Porrás-Alfaro y Bayman 2007; Hernández 2011) presencia de plagas y enfermedades (Divakaran *et al.* 2006; Hernández y Lubinsky 2010) altos costos de producción por la polinización manual (Soto-Arenas 1999; Coro 2009) bajos precios de la vaina en verde (Soto-Arenas 2006) y escasa transformación para la

comercialización. Adicionalmente, se sabe que las horas luz son un factor determinante en la floración y el rendimiento de vainilla (Fondo SAGARPA-CONACYT 2012).

Los factores antes citados limitan la producción y ocasionan baja rentabilidad del cultivo de vainilla, lo que causa el desánimo de los productores, el abandono de sus huertas y la reducción considerable de la producción de vainilla en verde en México.

Las variables consideradas en el rendimiento de los cultivos son múltiples, en este estudio se toman en cuenta aquéllas que se han estudiado en cultivos de importancia económica, así como en algunos cultivos de reproducción clonal. Dentro de las variables a considerar se encuentran las climáticas (temperatura, humedad, y precipitación), fisiológicas (asimilación de CO<sub>2</sub>, conductancia estomática, CO<sub>2</sub> intercelular, y transpiración) agronómicas y biológicas (días a floración, diámetro de tallo, incidencia y severidad de enfermedades, diámetro y longitud de vaina, y número de hojas, entre otras) además se consideran las variables de tipo edáfico. Cabe destacar que en ciertos cultivos se profundiza en la evaluación de algunas de ellas, lo que depende del tipo de estudio que se realiza o bien del interés comercial. En vainilla existen datos sobre investigaciones específicas sobre su nutrición en la parte radical, donde se toman en cuenta aspectos de índole nutricional edáfico y de la planta, así mismo se plantean en otras investigaciones cuestiones de tipo comercial donde las variables prioritarias son tamaño de vaina, aroma, contenido de vainillina, así como los distintos sistemas de producción del cultivar.

Identificar las variables de rendimiento en vainilla, permitirá elevar la producción a través del uso de prácticas de manejo que la favorezcan, así también reducir los altos costos de los principales problemas del cultivo como: polinización y nutrición vegetal. Adicionalmente, el uso de prácticas de manejo adecuado para la producción permitirá que la vainilla mexicana además de ser un cultivo de alta calidad, sea competitiva y rentable para todos los agentes de la cadena productiva (FAOSTAT 2012).

El objetivo del presente trabajo fue la identificación y evaluación de las variables que determinan el rendimiento biológico y agronómico en la vainilla, dentro de la región de Totonacapan, México.

Debido al vacío de información en las variables que influyen en el rendimiento agronómico y biológico de la vainilla, la presente investigación constituye un elemento fundamental para la innovación agroalimentaria sustentable de esta en el eslabón productivo de la cadena de valor.

## **1.1 Justificación**

La importancia de analizar las variables biológicas y agronómicas para incrementar el rendimiento del cultivo de vainilla es debido al vacío de información existente acerca de ellas. De acuerdo con el Congreso Internacional de Productores de Vainilla en 2006, realizado en Papantla, Veracruz, en donde los productores vertieron sus necesidades y expusieron la problemática en torno al cultivo, se asume que la amplia diferencia en niveles de rendimiento unitario de vainilla verde entre el registrado y el estimado, indica que existen problemas en la cadena de producción de vainilla relacionados con: inadecuada validación y transferencia de tecnología por parte de instituciones de investigación, escasa valoración de la agricultura tradicional como una alternativa para mejorar el bienestar de los productores, reducida tecnificación de los vainillales y ausencia de capacitación y asesoría a los productores en materia de mejoramiento genético y manejo del cultivo (Soto-Arenas 2006).

En la región Totonacapan existen variadas formas de realizar el cultivo de vainilla; sin embargo, las más comunes son cuatro sistemas de producción de vainilla en: acahual (tradicional), pichoco, bajo naranjo y malla sombra, que se diferencian entre ellos por el nivel de tecnificación y el uso de conocimiento tradicional en el manejo del cultivo (Barrera *et al.* 2009). En 2007, el rendimiento promedio para el sistema de producción bajo naranjo fue de 230 kg ha<sup>-1</sup>, y en malla sombra de 435 kg ha<sup>-1</sup>. Estos rendimientos se consideran bajos, debido a que una planta (esqueje) de vainilla bien atendida produce entre 40 y 45 vainas verdes, lo que equivale a 1 kg de vainas verdes, y el promedio son 1234 plantas ha<sup>-1</sup> para el primer sistema y 1862 plantas ha<sup>-1</sup> para el segundo (Barrera *et al.* 2010).

Cabe destacar que la producción y comercialización de vainilla verde representa para los pequeños productores una fuente de ingresos que puede contribuir a mejorar la economía de la unidad familiar, en la medida en que significativamente se incrementen los rendimientos y se implementen instrumentos regulatorios del mercado. Para lograrlo es necesario impulsar los

sistemas de producción de vainilla compatible con las condiciones físicas y socioeconómicas de la región Totonacapan.

Antes de ofrecer paquetes tecnológicos de producción completos, existe la necesidad de desarrollar los componentes simples de la producción que puedan ser adoptados individualmente por los agricultores, o por lo menos estudiar algún o algunos elementos tecnológicos que puedan dar lugar a incrementos reales del rendimiento. Por ejemplo, fertilización y manejo de la sombra (temperatura, humedad, luminosidad y aireación) acompañados por un tercer elemento tecnológico que si bien no incrementa inmediatamente los rendimientos, sí puede asegurar la producción sostenible, por ejemplo, cobertura del suelo, control de malezas, abonos orgánicos, encalado; o bien, el caso de la definición clara y concisa de lo que su cultivo necesita, así como reconocer aspectos o variables que directamente afectan su producción.

## **1.2 Planteamiento del problema**

De la región del Totonacapan que corresponde al estado de Veracruz, se obtiene 80 % de la producción nacional de vainilla, con dos características muy marcadas en el rendimiento, es reducido por unidad de superficie ( $0.6 \text{ t ha}^{-1}$ ) y fluctuante año con año (Gobierno del Estado de Veracruz 2008).

Una de las limitantes de producción que incitan a profundizar en el manejo del cultivo es que la producción nacional se reduce hasta 50 % por la baja disponibilidad hídrica durante su desarrollo, y por la variación del manejo y sombreado del cultivo (Castro-Bobadilla y García-Franco 2007; Castro-Bobadilla 2008). Además, el cultivo de la vainilla es afectado por diferentes enfermedades, que incluyen pudriciones basales, marchitamientos vasculares, necrosis y tizones foliares, antracnosis, manchas de frutos y diversas virosis, entre los que destacan: *Phytophthora meadii*, *Fusarium oxysporum*, *Calospora vanillae*, *Sclerotium* sp., *Colletotrichum gloeosporioides*, *Colletotrichum vanilla* y *Cylindrocladium quinquiseptatum*, entre otros (Santa et al. 2012). Aunado a lo anterior, el problema de caída prematura de fruto está presente desde 2005, situación que se agudizó en los ciclos productivos 2010-2011 y 2011-2012 con pérdidas cercanas a 80% de la producción.

Bajo las condiciones actuales, la producción de vainilla en México no puede competir en volumen y costos de producción con la de otros países como Madagascar, Uganda, India, Islas Reunión y Papúa Nueva Guinea. México solo aporta al mercado internacional cerca de 1 % de la producción Mundial y su vainilla solo se comercializa en cantidades pequeñas de dicha producción (FAOSTAT 2010).

Si se quiere identificar esquejes sobresalientes dentro de la variación genética con que se cuenta (Salazar *et al.* 2012; Herrera *et al.* 2012) es indispensable definir qué variables inciden sobre el rendimiento.

De manera tal que es necesario hacer investigaciones relacionadas con el rendimiento y conocer e identificar las variables principales que intervienen en el aumento o disminución del mismo, para hacer eficiente el uso de los recursos disponibles de la planta, hacia las variables de interés. Por lo cual se hace necesario identificar los factores que determinan el aumento de rendimiento en verde para integrar trans-disciplinariamente un conjunto de respuestas y soluciones al problema.

El rendimiento de un cultivo se observa en la producción de toneladas por unidad de superficie de acuerdo a las variables que lo afectan (Sánchez 2001) y depende de la interacción genotipo ambiente; en este caso, el propósito particular es estudiar e identificar las variables que lo influyen.

### **1.3 Objetivo general**

Estudiar las variables que determinan el rendimiento biológico y agronómico en *Vanilla planifolia* G. Jack., cultivada en tres localidades de la Región del Totonacapan, México.

#### **1.3.1 Objetivos específicos**

Establecer los caracteres morfológicos asociados al rendimiento agronómico de fruto en *V. planifolia* cultivada.

### **1.4 Hipótesis general**

Existen variables biológicas, reproductivas y agronómicas que determinan significativamente el rendimiento en el cultivo de *Vanilla planifolia*.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 El concepto de producción y variables de análisis

Cuando los componentes tecnológicos están integrados en un sistema de producción se puede asegurar el desarrollo de un esquema sostenible de producción de cultivos. Sin embargo, los componentes son a menudo específicos para un ambiente determinado, son complejos, costosos, difíciles de transferir y muchas veces poco atractivos para los agricultores que no pueden visualizar sus efectos a largo plazo para la sostenibilidad de los recursos no renovables. Además, muchos agricultores, especialmente aquéllos a nivel de subsistencia, raramente adoptan paquetes de producción completos, dado que los agricultores a veces no pueden permitirse cambios drásticos en sus tecnologías tradicionales y/o aceptar el riesgo de innovaciones radicales, especialmente en aquellos cultivos donde se tiene ya un manejo con muchos años de antigüedad y utilizar ciertas prácticas tradicionales (Violic 1982) como es el caso de la vainilla.

Algunos componentes de la producción varían en su expresión por la especificidad del lugar, tales como los niveles de nutrimentos, cultivos, sistemas de labranza, fechas de siembra, sistemas de control de la escorrentía y de la erosión, hasta recomendaciones específicas de un cultivo, para grupos de agricultores con una cierta tecnología o componente tecnológico válido. Algunos componentes tecnológicos podrán variar en lo que se refiere a la sostenibilidad, la cual a su vez dependerá de la fragilidad del ambiente y de las condiciones agroecológicas a las que esos componentes serán aplicados (Violic 1991).

Los altos costos de producción en especies cultivadas tradicionalmente, obligan al productor a buscar estrategias para incrementar la productividad de sus cultivos mediante la selección de cultivos con alto potencial de rendimiento y muestran adaptación a las condiciones ambientales donde el cultivo será aprovechado comercialmente.

La productividad agrícola se mide como el cociente entre la producción y los factores productivos. Calcular la producción agrícola de forma precisa es complicado ya que aunque los productos se midan por su peso fácilmente, suelen tener densidades muy diversas.

La productividad agrícola también puede ser medida por la eficiencia general con la que los factores productivos son utilizados conjuntamente, suele decirse entonces que los medios dan productividad total de los factores. Este método de medir la productividad compara índices de producción con índices de factores. De esta manera se subsana parcialmente cuál es realmente el factor productivo que hace mejorar la productividad. Cambios en la productividad total de los factores suelen estar asociados con mejoras tecnológicas o institucionales.

La productividad agrícola de una región es importante por varios motivos aparte de las ventajas evidentes de ser capaces de producir más alimento. Aumentar la productividad de las plantaciones mejora las posibilidades de crecimiento y competitividad en los mercados agrícolas, así como las posibilidades de ahorro y la distribución de la renta. Además, influye de forma significativa en las migraciones interregionales. El incremento de la productividad agrícola también hace que mejore la eficiencia en la distribución de los recursos escasos. A medida que los agricultores adopten las nuevas tecnologías y aparezcan diferencias en la productividad, los agricultores más productivos experimentarán incrementos de bienestar, mientras que los menos productivos es probable que dejen sus plantaciones y busquen otra actividad más lucrativa.

La producción de cultivos puede ser estimada por el rendimiento potencial y el rendimiento de agua limitada, como estándares en la producción, respectivamente y las condiciones de irrigación o de lluvias; las diferencias entre estos dos tipos de rendimientos explican el rendimiento típico o actual y precisan el conocimiento acerca de lo que es esencial, como una guía de la intensificación sostenible de la agricultura. Las variables comúnmente asociadas a estos tipos de rendimiento, que dan como resultado el rendimiento típico, son la radiación solar, temperatura, CO<sub>2</sub> atmosférico, elementos genéticos, tipo de suelo, irrigación, lluvias y topografía (Van Ittersum *et al.* 2013).

## **2.2 El concepto de rendimiento**

El rendimiento potencial es el rendimiento de un cultivar cuando crece con agua y nutrientes ilimitados y estrés abiótico controlado (Evans 1993; Rabbinge 1997 y Van Ittersum *et al.* 2013). Cuando se desarrolla bajo condiciones que puede lograr el rendimiento potencial, el crecimiento del cultivo es determinado solo por la radiación solar, temperatura, el CO<sub>2</sub> atmosférico y

elementos genéticos que determinan la longitud y periodo de crecimiento, y la intercepción de la luz por el dosel del cultivo (Van Ittersum *et al.* 2013). El rendimiento potencial es definido por el clima pero en teoría no depende de las propiedades del suelo, si se considera que requiere agua y nutrientes que pueden ser añadidos con el manejo. El rendimiento potencial es más relevante como punto de referencia para sistemas de irrigación o sistemas con climas húmedos con adecuado suministro de agua y así eludir los déficits de agua. Para los cultivos de secano el rendimiento donde el recurso agua es limitado es similar al rendimiento potencial sólo que se tiene limitado el recurso agua y depende un poco más del tipo de suelo, en sí a la capacidad de penetración de las raíces, la topografía y escorrentía.

Ambos rendimientos (el rendimiento potencial y el rendimiento recurso agua limitada) son calculados para fechas óptimas de siembra y densidad de plantas del cultivo en estudio.

El rendimiento medio es definido como el alcanzado actualmente en un campo agrícola, el cual representa la variación en tiempo y espacio en una determinada región geográfica, logrado por agricultores de la región bajo las más extensas prácticas de manejo como son: día de siembra, madurez del cultivar, densidad de plantas, manejo de nutrientes y protección del cultivo. El número de años utilizados para estimar el rendimiento medio debe ser un compromiso entre la variabilidad en rendimientos y la necesidad de evitar los efectos de confusión de las tendencias de los rendimientos temporales debido a cambios climáticos o tecnológicos. La brecha de rendimiento es la diferencia entre el rendimiento potencial, el rendimiento recurso agua limitado y el rendimiento medio (Van Ittersum *et al.* 2013).

Las brechas de rendimiento son ocasionadas por cinco aspectos principales, como son: a) Biofísicos: clima o condiciones atmosféricas, suelos, agua, presión por plagas y malezas, b) Técnicos o manejo: labranza, selección de variedades o semillas, agua, nutrientes, malezas, plagas y manejo postcosecha, c) Socioeconómicos: nivel socioeconómico, tradiciones y conocimientos de los agricultores, tamaño de la familia, ingresos/gastos/inversiones del hogar, d) Institucionales o políticos: política del gobierno, precios del cultivar, crédito, oferta de insumos, tenencia de la tierra, mercado, investigación, desarrollo, extensión, y e) Transferencia de tecnología y vínculos: idoneidad y servicios del personal de extensión, integración entre investigación, desarrollo y extensión, resistencia de los agricultores frente a la nueva tecnología;

conocimientos y habilidades; vínculos débiles entre el personal de extensión de los sectores público, privado y no gubernamental. Abatir las brechas de rendimiento implica vencer muchas de estas causas para llenar el espacio existente entre la brecha y el rendimiento explotable deseado y esperado (FAO 2004; Godfray *et al.* 2010; Foley 2014).

Los recursos de agua para sostener la agricultura de temporal y la agricultura de irrigación, se encuentran bajo presión, lo que provoca que la productividad del agua; es decir, la eficiencia con la cual el agua es convertida en alimento, es ahora otro punto de referencia crítico para la producción de alimentos y uso de la eficiencia de los recursos (Bessenbinder *et al.* 2005; Passioura 2006; Grassini *et al.* 2011).

La productividad del agua es definida como la relación entre el rendimiento y el suministro de agua estacional, el cual incluye disponibilidad de agua en el suelo para la planta a la siembra, en época de lluvias y con irrigación, menos el agua residual en la zona de enraizamiento y madurez.

El éxito de cualquier genotipo depende no sólo de su buen comportamiento con relación al rendimiento y a la tolerancia que muestre a las principales plagas, sino además, del desempeño que muestre en los diferentes ambientes donde sea probado.

### **2.2.1 Métodos para evaluar rendimiento**

Existen diversas formas de abordar la evaluación del rendimiento de los cultivos, como los modelos de simulación que han sido usados para estimar el potencial del rendimiento de un cultivo en escalas de intervalos para un campo específico para una región o país, con determinado número de factores a considerar según el grado de exactitud o bien, de aspecto de relevancia a relacionar (Yang *et al.* 2004).

Otro de ellos son los experimentos y pruebas de campo en los cuales se utiliza el manejo de cultivos con el diseño de prácticas para eliminar todos los factores que reducen el rendimiento (Blumenthal *et al.* 2003).

Un método menos usado es el de rendimientos máximos de agricultura en el cual se observa el rendimiento máximo obtenido por un determinado número de agricultores en una región de

interés. De esta manera se logra establecer patrones de uso en sus prácticas culturales, como la aplicación de fertilizantes específicos, entre otros insumos necesarios para reproducir las metodologías de los agricultores con altos rendimientos (Lobell *et al.* 2009).

### **2.2.2 Modelos para estimación de rendimiento**

Desde el desarrollo de la simulación de los modelos de rendimiento en las computadoras en 1960 (Loomis y Williams, 1962; Bouman *et al.* 1996; Graves *et al.* 2005) hasta los últimos años, se ha expandido el uso de la simulación de modelos dinámicos de árboles e incremento de los rendimientos, simples o mezclados, y de esta forma se ha facilitado los avances en la tecnología moderna computacional. El término simulación de modelos de rendimiento se usa para referirse a todos los modelos que simulan el crecimiento de cultivos y árboles en sistemas puros o mezclados y han sido usados en investigación, educación y en la toma de decisiones (Matthews y Stephens, 2002). Se han usado ampliamente para investigar el comportamiento de un cultivo, de un árbol, y cultivar-árbol a través de sistemas “virtuales” de experimentación, especialmente cuando se analiza la diferencia de espacio entre la actualidad y la potencialidad de los campos (Lobell *et al.* 2009).

Los modelos de rendimiento también han sido usados para explorar opciones de manejo (DeJonge *et al.* 2007; Tojo Soler *et al.* 2007; Shili-Touzi *et al.* 2010) para estimar los costos e importancia de cultivos potenciales con diferente fenotipo o un elemento genéticamente distintivo (Asseng *et al.* 2002; Debaeke, 2004; Chenu *et al.* 2009; Semenov *et al.* 2009) y para predecir el comportamiento de los sistemas de cultivo bajo el comportamiento del cambio climático (Asseng *et al.* 2004; Meza y Silva, 2009; Lhomme *et al.* 2009; Liu *et al.* 2010).

La simulación dinámica del modelaje de cultivos generalmente trabaja en un lapso de tiempo que está acomodado a los mecanismos involucrados en el crecimiento del cultivar, lo cual se refiere a que hay un lapso de tiempo en el modelaje.

Las conexiones causales entre las variables de transferencia como clima, suelo y manejo, y las variables del sistema que incluyen aquéllas para el crecimiento de cultivos, son definidas a través del tiempo por las ecuaciones del modelo.

En arroz (*Oriza sativa* L.) las variables de rendimiento que se tomaron en cuenta de acuerdo a Maqueira *et al.* (2007) fueron: masa seca aérea ( $\text{g m}^{-2}$ ) en un marco de  $0.50 \text{ m}^2$  en cada tratamiento, los muestreos se realizaron en las fases de máximo ahijamiento, floración y maduración y se consideró también el área foliar ( $\text{m}^2$ ) de las plantas, la cual se estimó a través del producto del ancho y largo de cada una de las hojas activas y para la determinación del rendimiento agrícola y algunos de sus principales componentes se utilizó el sistema que se emplea en el cultivo del arroz, granos llenos por panícula<sup>-1</sup>, peso de 1000 granos, panículas por  $\text{m}^{-2}$  y rendimiento por  $\text{ha}^{-1}$  estimados en un área de  $8 \text{ m}^2$ .

En Maíz (*Zea mays*) las variables que han sido utilizadas para definir rendimiento de acuerdo a Córdova (1992) y Herrera *et al.* (2000) son altura de planta, altura de mazorca, acame de raíz y de tallo, cobertura de mazorca, mazorcas dañadas. El rendimiento de grano fue estimado en función del peso de grano registrado en cada unidad experimental, expresado en  $\text{kg ha}^{-1}$ , ajustado a 12 % de humedad, días a la exposición de estigmas, proporción de olote en la mazorca, número de ramas de la panícula, número de hileras, diámetro de la mazorca, anchura de grano, anchura/longitud de grano, días a floración, enfermedades de importancia económica.

Para el rendimiento de trigo (*Triticum aestivum*) de acuerdo a Natali *et al.* (2005) se midió el agua útil, fósforo del suelo, materia orgánica, años de agricultura continua, años de siembra directa continua, ciclo del cultivar, fecha de siembra, fungicidas, sistema de labranza, cultivo antecesor, nitrógeno del suelo más el del fertilizante, fósforo del fertilizante, precipitaciones de invierno, precipitaciones de primavera.

En cuanto a cultivos clonales, la cuantificación de variables en el cultivar de fresa (*Fragaria mexicana*) han sido: reposo vegetativo, despertar vegetativo, botón verde, botón blanco, plena floración, primeros frutos verdes, plena maduración (Peralta 1988).

En otro cultivo clonal como la papa (*Solanum tuberosum* L.) las variables estudiadas fueron: número total de tubérculos por planta, número de tubérculos por calibre por planta, peso promedio por calibre por planta (kg) relación porcentual del número de tubérculos por planta, relación porcentual del peso de los tubérculos por calibre (Tornés *et al.* 2008).

Para los espárragos (*Asparagus officinalis*) las variables consideradas de acuerdo a Asprelli (2005) fueron días a brotación, días a 50 % de parcela brotada, rendimiento de mercado como el peso total en gramos de los turiones que presentaron color uniforme, rendimiento total (RT) como el peso en gramos de los turiones cosechados, número de turiones cosechados (NT), peso medio del turión obtenido por medio del cociente RT/NT.

Para el cultivar canola (*Brassica napus*) las variables consideradas de acuerdo a Hernández (2008) fueron número de días a floración, altura de planta, desgrane (poco, medio y mucho) y rendimiento  $\text{ha}^{-1}$  para lo cual se cosecharon todas las plantas. Conforme se avanzaba en la fase de evaluación de variedades, se inició la fase de validación; es decir, verificar los resultados en ambientes diferentes y en extensiones de mayor superficie donde fueron generadas y determinar su validez con un manejo directo de los productores.

Y para tomate (*Solanum lycopersicum*), las observaciones realizadas por Santiago (1998) fueron rendimiento de frutos por planta, clasificación de frutos de acuerdo a su tamaño, peso por fruto, número de frutos, días al primer corte, días a cosecha, fotosíntesis y transpiración en 10 fechas a 3 horas distintas del día con un IRGA (analizador de gases infrarojo) LI-COR 6200 e índice de área foliar con un medidor de área foliar LI-COR 3100 Área meter.

Uno de los modelos reflejados en investigación respecto al rendimiento de *Vanilla planifolia* G. Jack ha sido el realizado por Menon *et al.* (2002). Donde las variables consideradas para su observación fueron; altura de planta, número de hojas por planta, longitud de área productiva de la vainilla, longitud de área no productiva de la vainilla, distancia entre nudos, circunferencia del esqueje, área foliar, número de inflorescencias por vainillal, número de vainas por inflorescencia, longitud de vaina, número de vainas por vainillal, de donde obtuvo un modelo predictivo sobre el rendimiento en parcelas de vainilla. Las variables que impactaron el rendimiento fueron la distancia entre plantas, parte productiva de la planta, longitud de vaina y número de vainas por vainillal, las cuales reflejan directamente el rendimiento potencial de la parcela; sin embargo, las más importantes por su alto nivel de significancia fueron la longitud de vaina y el número de vainas.

## **2.3 Variables de análisis**

### **2.3.1 Biométricas**

Dentro de las variables biométricas a considerarse para buscar explicación al fenómeno de rendimiento en cultivares, se tiene que hacer un análisis previo del sitio para valorar las variables a estudiar y el manejo de equipo. Destacan las variables fisiológicas como el CO<sub>2</sub> intercelular (Del Pozo *et al.* 2014; Kersebaum y Nendel 2014) la fotosíntesis (Mu *et al.* 2010) la transpiración y la conductancia estomatal.

#### **2.3.1.1 Fotosíntesis**

Toda la producción de biomasa proviene de la fotosíntesis (Evans 1975), importante proceso donde el CO<sub>2</sub> atmosférico es absorbido por las plantas en presencia de luz y agua para formar carbohidratos simples mientras que el oxígeno es liberado del agua (Salisbury y Ross 1994) de tal modo que cualquier alteración en este proceso afecta el crecimiento y desarrollo vegetal de modo directo. La fotosíntesis es más sensible al estrés hídrico que la respiración y el transporte, pero menos que la elongación y división celular (Jurgens *et al.* 1978; Kramer 1983).

El estrés hídrico altera la fotosíntesis significativamente (Hsiao 1973; Kramer 1983) por diversas vías. Algunos investigadores aseguran que la asimilación de CO<sub>2</sub> es limitada principalmente por el cierre estomático en condiciones de bajo potencial hídrico vegetal (Kaiser 1987; Chávez 1991; Yordanov *et al.* 2003).

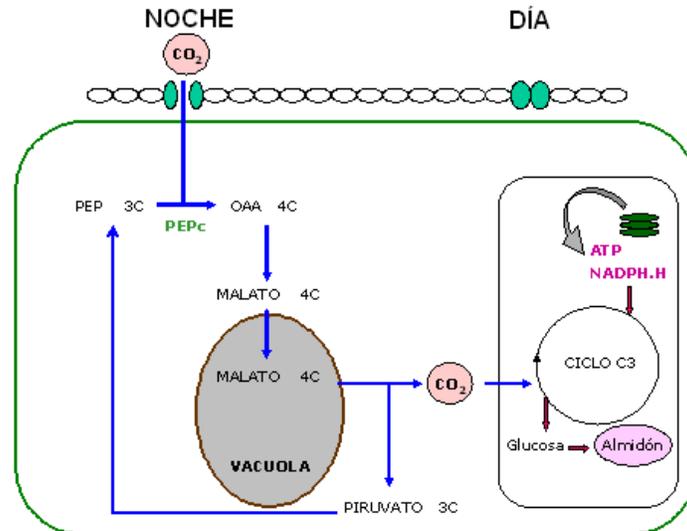
La fotosíntesis es afectada por el exceso de radiación y temperaturas altas o bajas (Marenco *et al.* 2001). Así, se desarrollan mecanismos de defensa como el acomodo de hojas o bien la modificación en el tipo de fotosíntesis a realizar C3, C4 o bien con metabolismo ácido crasuláceo (MAC o CAM, por sus siglas en inglés crassulacean acid metabolism). La mayoría de las plantas son C3, aunque las plantas C4 y las MAC están presentes en la mayoría de los ecosistemas; las plantas MAC están adaptadas a condiciones extremas de temperatura y sequía, como ocurre en zonas desérticas.

Las crasuláceas, cactáceas, bromeliáceas, y orquidáceas son plantas MAC. En este tipo de plantas ocurren dos carboxilaciones en la misma célula, en diferente momento. Las orquídeas poseen este tipo de fotosíntesis; sin embargo, la información relacionada con la fisiología de la vainilla es escasa y más específicamente sobre el intercambio de gases, por lo que se hace referencia a algunas orquídeas. La abundancia de células del mesófilo con vacuolas bastante grandes que ocupan la mayor parte del volumen celular en las epífitas de corteza *Epidendrum excisum* y en las de ramita (*Rodriguezia lehmannii* y *Hirtzia escobarii*), se presenta junto con espacios intercelulares reducidos, donde las cámaras subestomáticas son de menor tamaño que las células adyacentes del mesófilo. Estas características foliares suelen estar asociadas a plantas con metabolismo MAC (Nelson *et al.* 2005). Dichas características las encontraron Arevalo *et al.* (2011) en epífita de humus (*Oncidium abortivum* Rchb.f.), epífita de corteza (*Epidendrum excisum* Lindl.) y epífitas de ramita (*Rodriguezia lehmannii* Rchb.f. e *Hirtzia escobarii* Dodson) y cuatro especies que crecen como epífitas y como plantas terrestres —*Elleanthus oliganthus* (Poepp. & Endl.) Rchb. f., *Elleanthus purpureus* Rchb. f., *Pleurothallis cordifolia* Rchb. f. & H.Wagener, y *Stelis* sp.

Durante el día, la actividad de la fase luminosa genera ATP y NADPH.H, que permiten la reducción del CO<sub>2</sub> aportado por el malato a través del ciclo C3.

Las plantas MAC fijan el CO<sub>2</sub> al fosfoenol piruvato (PEP) en la primera carboxilación y sintetizan oxalacetato, que se transforma en malato durante la noche. El malato que se almacena en las vacuolas de las células del parénquima es el responsable del descenso del pH en las hojas durante la noche. El pH aumenta durante el día a medida que se consume el malato. La descarboxilación del malato suministra CO<sub>2</sub> a la Rubisco, que cataliza la segunda carboxilación con la puesta en marcha del ciclo C3, que ocurre durante el día (Figura 1). El piruvato generado por descarboxilación del malato cierra el ciclo MAC.

En las plantas MAC la fijación de  $\text{CO}_2$  está separada temporalmente en el día y la noche, mientras que en las plantas  $\text{C}_4$  la separación es espacial; es decir, se lleva a cabo en dos tipos de células, las del mesófilo y las de la vaina (Lehninger *et al.* 2009).

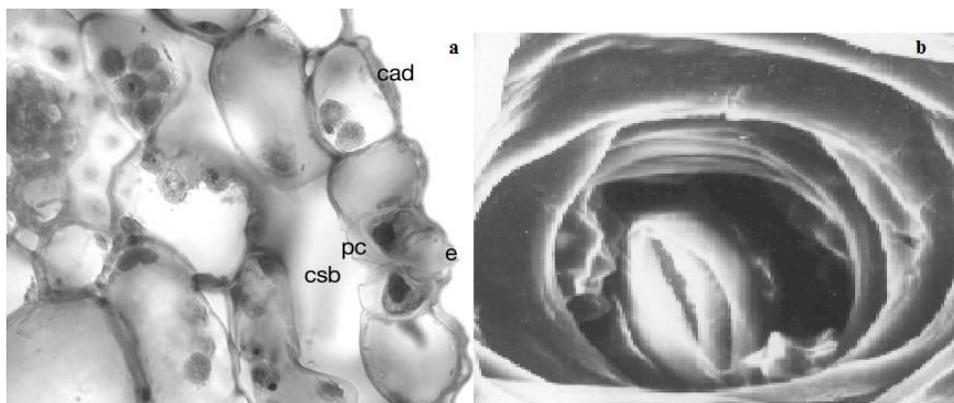


**Figura 1.** El proceso de fijación de  $\text{CO}_2$  por una planta MAC. Los estomas abiertos durante la noche permiten el ingreso de  $\text{CO}_2$  que se acumula como grupo carboxilo del oxalacetato (Karp 1996; Lehninger *et al.* 2009).

Las plantas MAC en general son facultativas; es decir, tienen metabolismo MAC en determinadas condiciones ambientales y cambian a metabolismo  $\text{C}_3$  en otras. Si bien las plantas con esta modalidad de fijación de  $\text{CO}_2$  son características de regiones con climas extremos, su distribución geográfica es extensa, lo que probablemente se logra por la flexibilidad metabólica que tienen para cambiar entre la modalidad  $\text{C}_3$  y MAC. Es más, es común que las plantas MAC funcionen como  $\text{C}_3$  en determinados momentos del día. Como la PEP carboxilasa y el  $\text{CO}_2$  liberado de la descarboxilación del malato están en el mismo compartimento, si la enzima no estuviera regulada se generaría un ciclo fútil de carboxilación denominado descarboxilación. Por esto es necesario que la PEP carboxilasa esté regulada de tal manera que evite que el  $\text{CO}_2$  liberado de la descarboxilación del malato sea nuevamente captado por el PEP para volver a formar malato. Durante el día se evita esta situación porque la PEP carboxilasa está inhibida por malato, y durante la noche la PEP carboxilasa se activa, incluso en presencia de malato, por modificación covalente de la enzima: se fosforila un residuo serina (Lehninger *et al.* 2009; Karp 1996).

### 2.3.1.2. Estomas

En las plantas superiores, la función primaria de los estomas es permitir la entrada de CO<sub>2</sub> y regular la salida de vapor de agua y de oxígeno. Su posición en la superficie de la lámina foliar es variable; se presentan hundidos (Figura 2a), al mismo nivel de las otras células epidérmicas o se proyectan hacia el exterior (Flores-Vindas 1999). Otra característica es su distribución en la superficie de las hojas (Figura 2b), si se localizan en la superficie adaxial de la lámina ésta es epiestomática; si están en la abaxial, es hipoestomática pero si se presentan en ambas superficies de la hoja se le llama anfiestomática (Flores-Vidas 1999).



**Figura 2** a. Estoma (e) con células guardia de lumen triangular y cámara subestomática. (csb) de igual tamaño a células de mesófilo adyacentes, leves proyecciones cuticulares. Internas (pc). Cutícula adaxial levemente abollada (cad) en *Elleanthus oliganthus* Imagen de Arevalo *et al* (2011). b. Localización de estomas en epidermis y distribución de cutina *O. ficus indica* (1200x) imagen de Silva *et al* (2001).

### 2.3.2 Agronómicas

Las variables concernientes a la parte agronómica son aquellas cuyos aspectos revelan características propias a lo largo de toda la fenología del cultivar por ejemplo días de siembra o plantación, días a cosecha, rendimiento, fertilización, labores culturales, tamaño de fruto, días a floración, número de flores, irrigación, materia orgánica, altura de planta, distancia entre nudos, diámetro de planta y prácticas culturales (Tian *et al.* 2011; Jin *et al.* 2012; Xiao y Tao 2014).

### **2.3.3 Climáticas**

Hablar sobre las condiciones climáticas en las que se desarrolla un cultivar en la actualidad es involucrarse con la realidad acerca del aumento constante en las concentraciones de CO<sub>2</sub> y la excesiva radiación que se suscita a lo largo del planeta, se tiene en consideración que si la temperatura mantiene las tendencias se esperara un incremento en la evapotranspiración, una disminución en las lluvias de verano dará como resultado una reducción en la humedad del suelo, por lo tanto, una muy baja o casi nula disponibilidad de agua para las plantas (Lalic *et al.* 2012).

Es entonces que Kresovic *et al.* (2014) considera como variables climáticas de importancia las temperaturas mínimas y máximas, irrigación, y precipitación mensual. Así mismo la radiación solar juega un papel en el desarrollo de la planta (Xiao y Tao 2014; Rathore *et al.* 2014).

## **2.4 Generalidades del cultivo**

### **2.4.1 Origen y distribución**

La vainilla es nativa de México (Odoux y Grisoni 2011) su uso fue mencionado por Hernán Cortés y sus seguidores quienes llegaron al país a principios del siglo XVI. Ellos observaron cómo los indígenas usaban la vainilla para saborizar el chocolate. La vainilla no fue cultivada hasta el descubrimiento de la polinización de la flor, por Edmond Albus en 1841 (Theodose 1973).

En México se encuentra distribuida en los Estados de Veracruz, Puebla, Hidalgo, San Luis Potosí, Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Quintana Roo (SIAP 2012).

### **2.4.2 Importancia del cultivar**

La especie del género *Vanilla* más importante económicamente es *V. planifolia* (vainilla), nativa de las zonas tropicales de América, desde México hasta Ecuador (Soto-Arenas 1999 Lubinsky *et al.* 2008). Los cuatro países con más rendimiento en vainilla son Madagascar (69 t ha<sup>-1</sup>), Indonesia (9 t ha<sup>-1</sup>), China (1.5 t ha<sup>-1</sup>) y México (1.1 t ha<sup>-1</sup>) (Pokorná y Smutka 2011). La vainilla

es uno de los saborizantes naturales más populares usados en la industria agroalimentaria (Weiss 2002) y el saborizante natural de mayor importancia en industrias como la refresquera, tabacalera, repostería, cosmética y perfumería (Korthou y Verpoorte 2007) usando 60 % en alimentos, 30 % en cosméticos y 7 % en aromaterapia (Priefert Rabenhorst y Steinbiichel 2001). La vaina puede ser comercializada en dos formas: 1) en su estado primario conocido como “vainilla verde”; la cual carece de sabor y aroma, por lo que para que se obtenga el sabor y aroma característico es necesario llevar a cabo un proceso de beneficiado o “curado”; y 2) como “vainilla beneficiada”, de la cual, después de un proceso de fermentación y secado se obtiene una vaina oscura y flexible con el aroma que le caracteriza.

La Vainilla es una de las especies que ofrece la mayor oportunidad de exportación mientras otras especies están limitadas a altos valores en los nichos de mercado de acuerdo al IMPI (Instituto Mexicano de la propiedad Industrial 2014) quien ha dado la denominación de origen “Vainilla de Papantla”. El hecho de ser nativa de México (Odox y Grisoni 2011) le otorga también un valor de importancia ecológica. La selva tropical, lugar donde crece enfrenta las tasas más altas de destrucción, por lo que es prioridad dentro del tema de la conservación de los recursos fitogenéticos (Grupo Mesófilo 2006).

Los principales estados productores son Veracruz y Puebla, seguidos de San Luis Potosí, Hidalgo, Chiapas y Oaxaca (SIAP 2012).

Su importancia social destaca por el manejo tradicional del cultivar en la zona del Totonacapan y la identidad que brinda la producción misma del cultivar a las personas de la región. De tal modo que surge una serie de valores heredados de generación en generación dentro de las unidades de producción de vainilla de la región Totonacapan que fomentan el cultivo de vainilla, independientemente de los beneficios económicos que éste representa (Salazar 2011).

### **2.4.3 Características generales del cultivo**

El género *Vanilla* pertenece a la familia *Orchidaceae*, el cual comprende más de 110 especies descritas (Govaerts *et al.* 2006; Bory *et al.* 2008; Ranadive 2011) distribuidas a través de áreas tropicales y subtropicales de Norteamérica, Suramérica, África y Asia (Cameron 2011). La

vainilla es una planta tropical trepadora, semiepífita; esta planta es una liana suculenta que sobrevive en la penumbra de la cobertura boscosa tropical. Comienza su desarrollo como planta terrestre, desarrolla un sistema radical superficial sobre materia orgánica (hojarasca en descomposición) pero con el tiempo llega a ser epífita, y crece adherida a los árboles y ramas a través de raíces aéreas que no sólo funcionan como órganos de absorción de agua y minerales, sino también como soporte (Fouché y Jouve 1999).

La vainilla carente de una raíz pivotante, genera sus raíces a partir de los nudos, donde se encuentran los meristemas axilares y posee un sistema radical fasciculado, el cual tiene un intervalo exploratorio no mayor a 80 cm de profundidad, que se desarrolla entre la materia orgánica. Además, posee raíces adventicias utilizadas como sujetadoras y después presenta un crecimiento descendente en busca de materia orgánica, dichas raíces absorben nutrientes (Hernández y Lubinsky 2011).

Este cultivo es afectado por diferentes enfermedades, incluso pudriciones basales, marchitamientos vasculares, necrosis y tizones foliares, antracnosis, manchas de frutos y diversas virosis. Estudios realizados en varios países asiáticos y africanos, han determinado la presencia de una gran variedad de hongos y Oomycetes asociados a dichas patologías, entre los que se destacan: *Phytophthora meadii*, *Fusarium oxysporum*, *Calospora vanillae*, *Sclerotium* sp., *Colletotrichum gloeosporioides*, *Colletotrichum vanilla* y *Cylindrocladium quinquiseptatum*, entre otros (Thomas y Sussela 2001; Bhai y Dhanesh 2008; Pinaría *et al.* 2010).

#### **2.4.4 Características botánicas de la vainilla**

Esta orquídea es perenne, terrestre, trepadora semiepífita, de tallo suculento, cilíndrico, simple o ramificado, de color verde brillante; su diámetro puede alcanzar hasta 2 cm. Las hojas son flexibles, subsésiles, elípticas, laureadas y suculentas, alternas, dispuestas en zig-zag a través del tallo, acompañadas de una raíz adventicia en el lado opuesto de la hoja. Posee dos tipos de raíces: 1) terrestres, que brotan de los nudos bajo tierra y se desarrollan principalmente, en la parte más superficial y rica en materia orgánica del suelo y hasta una profundidad no mayor a 80 cm dentro del suelo orgánico húmedo y 2) aéreas, que se originan en los nudos superiores y

sirven de soporte a las plantas sobre el tutor, crecen adheridas al tronco y no se ramifican (Fouché y Jouve 1999; Straver 1999).

Las flores se presentan en inflorescencias o racimos que brotan de las axilas de las hojas, por lo general, cada una mide entre 5 a 8 cm de longitud. La planta llega a tener de 10 a 15 racimos de flores, compuesto cada uno por aproximadamente 10 flores individuales. Generalmente solo de 1 a 3 flores abren al mismo tiempo y permanecen totalmente abiertas, listas para la polinización, un solo día. Desde la siembra hasta la primera floración transcurren de dos a tres años, (Fouché y Jouve 1999; Hernández y Lubinsky 2011).

El fruto es una cápsula dehiscente de forma cilíndrica, conformada por tres costados cóncavos, de color verde brillante al estar inmaduro y se torna de verde claro a amarillo y café a medida que madura. Su longitud varía de 13 a 25 cm y su diámetro entre 10 y 15 mm (Fouché y Jouve 1999; Straver 1999; Hernández y Lubinsky 2011).

## **2.5 Manejo Agronómico de la Vainilla**

### **2.5.1 Etapas del desarrollo de la Vainilla**

El ciclo de vida del cultivo varía de acuerdo al mantenimiento que recibe y puede ser de 3 a 10 años. Las plantaciones comerciales en México tienen una vida promedio de cinco años, de los cuales, los primeros tres años son de desarrollo vegetativo, mientras que los últimos dos años son de producción (Elorza *et al.* 2007).

De acuerdo con la descripción realizada por Allen *et al.* (1998) las diversas etapas de desarrollo vegetativo y reproductivo para la vainilla son las siguientes:

Etapa inicial. Comprende de la fecha de siembra hasta 200 días después de la siembra (DDS); este tiempo es el necesario para que la planta tenga un alargamiento mínimo de 1.5 m, y representa aproximadamente 10 % del ciclo de cultivo y de cobertura del suelo.

Etapa de desarrollo del cultivo. Comprende desde el momento en que la planta tiene 200 DDS hasta el inicio de floración o hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa.

Etapas de mediados de temporada. Comprende desde el inicio de la floración al inicio de la madurez del fruto, indicada generalmente por el amarillamiento del extremo distal del fruto.

Etapas finales. Comprende desde el inicio de la madurez de los frutos hasta la cosecha o dehiscencia de los mismos.

### **2.5.2 Sistemas de producción y propagación**

Existen diversos tipos de producción de acuerdo al nivel de intensificación tecnológica y las prácticas de manejo empleadas (Kahane *et al.* 2008) con lo cual se diferencian dos grandes grupos: sistemas agroforestales y sistemas de techo sombra.

Los sistemas agroforestales se subdividen en dos grupos: a) sistemas agroforestales no intensivos, donde el cultivo de vainilla es manejado bajo vegetación secundaria y natural, sin arreglo espacial, y b) sistemas agroforestales semi-intensivos, donde las especies leñosas (árboles y arbustos) son utilizados en asociación espacial deliberada con los cultivos agrícolas anuales y algunas veces con los animales. Estos dos sistemas pueden albergar de tres a cinco mil plantas de vainilla por hectárea (Gómez *et al.* 2011; Hernández y Lubinsky 2011; Padilla-Vega 2011).

En los sistemas de techo sombra o intensivos, las plantas de la vainilla se encuentran bajo polisombra, son cultivadas en bolsas con alto contenido de materia orgánica y presentan tutores artificiales generalmente de plástico reciclado o madera inmunizada/tratada. En estos sistemas pueden incorporarse de siete a diez mil plantas de vainilla por hectárea (Gómez *et al.* 2011; Hernández y Lubinsky 2011; Padilla-Vega 2011).

Para la propagación a gran escala y que sea material de calidad, se lleva a cabo el establecimiento de un jardín progenie, donde previamente se colocan esquejes de alrededor de 30 cm; con los cuidados adecuados de suelo y nutrientes se da el crecimiento y se cortan esquejes con 3 a 4 entrenudos para su posterior plantación (Anilkumar 2004).

### **2.5.3 Sombreado**

La vainilla no se desarrolla a campo abierto, ya que no tolera la radiación directa del sol (Ranadive 2005). Esta planta crece de forma vigorosa cuando está bajo una sombra de 50 % y recibe luz indirecta (Anilkumar 2004; Exley 2011; Hernández y Lubinsky 2011).

En sistemas agroforestales, la sombra es proporcionada por los tutores y árboles de mayor porte que constituyen la sombra secundaria. En sistemas de techo sombra, la intensidad lumínica se controla mediante el uso de polisombras que modifican la luminosidad al interior del cultivo.

Cuando el período es seco y la radiación solar es alta, es preferible usar una sombra entre 50-70 % para conservar la humedad del suelo y del aire. Cuando el período es lluvioso, la sombra se reduce a 30-50 % para evitar el crecimiento de patógenos (Hernández 1943; Ranadive 2005). El exceso de sombra sobre las plantas genera un crecimiento débil y una baja producción de flores; mientras que la abundancia de radiación puede quemar las hojas y el tallo, así como generar la caída temprana de los frutos (Hernández y Lubinsky 2011).

### **2.5.4 Tutores**

La vainilla, al ser una orquídea semiepífita, requiere de soportes para su crecimiento y desarrollo, éstos pueden ser individuos vegetales o artificiales tales como postes de madera inmunizada/tratada (Ranadive 2005; Hernández y Lubinsky 2011).

Los tutores vegetales, además de brindar un soporte para la vainilla, generan un microclima apropiado para la planta mediante la regulación de la intensidad lumínica (Hernández y Lubinsky 2011). Entre los parámetros para escoger un tutor adecuado se encuentran la adaptación de la especie a la región, rápida propagación y crecimiento vigoroso para resistir el peso de las plantas de vainilla, sistema radical profundo, copa frondosa a lo largo del año y tolerancia a podas periódicas y enfermedades (Damiron 2004; Gómez *et al.* 2011; Hernández y Lubinsky 2011; Ranadive 2005).

Los tutores vegetales más comunes en los cultivos de vainilla en el mundo son *Erythrina* sp., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. & G. Forst., *Jatropha curcas* L. y *Plumeria alba* L. (Damiron 2004; Prodesis 2005; Ranadive 2005; Hernández y Lubinsky 2011; Sarma *et al.* 2011).

### **2.5.5 Prácticas culturales**

Las labores culturales más comunes incluyen darle cause al esqueje una vez que ha desarrollado gran longitud, dar pie al esqueje al tocar el suelo, así como que se mantenga sobre el tutor (Téllez 2011).

### **2.5.6 Sustratos orgánicos**

La vainilla presenta un sistema radical terrestre que se desarrolla de forma superficial sobre materia orgánica en descomposición. Este sustrato es la principal fuente de nutrientes para la vainilla (Hernández y Lubinsky 2011) además, debe proveer condiciones físicas adecuadas como aeración, retención de agua, temperatura y control de arvenses; las anteriores condiciones son críticas para el buen crecimiento y funcionamiento de la raíz (Damiron 2004; Hernández y Lubinsky 2011; Sarma *et al.* 2011).

En cuanto a fertilización, generalmente los cultivos de vainilla no presentan esquemas de nutrición química más allá de la aplicación de materia orgánica (Hernández y Lubinsky 2011). En India, algunos cultivos de vainilla se fertilizan mediante la aplicación anual de 40-60 g de nitrógeno, 20-30 g de fósforo ( $P_2O_5$ ) y 60-100 g de potasio ( $K_2O$ ) por planta. Además, se fertiliza de manera foliar con el fertilizante Triple 17 (17:17:17) a 1 % (Ananadaraj *et al.* 2005; Anilkumar 2004). En algunos cultivos de vainilla se bio-fertiliza con bioinoculantes que contienen *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum* y bacterias solubilizadoras de fósforo (Anilkumar 2004).

En estado natural, esta planta se desarrolla en la hojarasca del bosque. En los cultivos extensivos, el sustrato orgánico más común ha sido el producto proveniente de las podas de los árboles tutores (Hernández 2011; Hernández y Lubinsky 2011). Sin embargo, se han observado buenos

resultados con la aplicación de otros materiales como vermicomposta, cáscaras de coco, hojarasca de Neem, cenizas de madera, harina de huesos, hojas secas (Anilkumar 2004) bagazo de caña y paja de arroz (Zhou *et al.* 2011).

### **2.5.7 Cosecha**

Las vainas son cosechadas 9 meses después de la polinización, se debe considerar su madurez al cambiar de color verde a amarillo pálido, deben medir de 12-25 cm de longitud. Es importante cosechar en el momento oportuno, de lo contrario se observarán malos resultados al momento del beneficiado. Dicho momento ocurre cuando la parte distal de la vaina ha cambiado de un tono amarillo a ligeramente amarillo, la revisión diaria es necesaria, el corte se realiza con un cuchillo o manualmente si se tiene habilidad para no dañar las vainas (Anandaraj *et al.* 2005).

### **2.5.8 Manejo post cosecha**

Las vainas después de haber sido cosechadas tienen poca vainillina y son inodoras e insípidas. Es durante el beneficiado que la vaina se somete a una reacción enzimática responsable del sabor y aroma característico de la vainilla, el cual debe hacerse inmediatamente después de que la vaina ha sido cosechada, por lo regular las vainas son almacenadas de 3 a 5 días. Existen diferentes métodos de beneficio pero todos consisten en alrededor de 4 pasos: a) matar la vaina para permitir la acción enzimática mediante luz solar, b) sudado de la vaina para aumentar la temperatura y promover la acción enzimática y mejorar la velocidad del secado y prevenir así la fermentación, c) secado lento para desarrollar la fragancia, y d) acondicionamiento del producto mediante el almacén por algunas semanas en cajas cerradas. Los métodos más importantes del beneficiado son los Mexicanos, los de Bourbon, los Peruvianos y los de Guiana (Anandaraj *et al.* 2005).

### **2.5.9 Normas de calidad del fruto**

Existe la Norma Oficial Mexicana NOM-182-SCFI-2011, Vainilla de Papantla, extractos y derivados especificaciones, información comercial y métodos de ensayo (prueba), donde se especifican los parámetros físicos: la longitud de fruto debe ser mayor a 15 cm NMX-FF-067-

1988, la humedad (%) de 25-38 NMX-FF-074-SCFI-2009 inciso 8.1, y en cuanto a parámetros químicos, la Vainillina (% en base seca) 2.0 mínimo, Acido hidroxibenzoico (ppm) 58-100, inciso 8.2 , Acido vainillínico (ppm) 411-861, Hidroxibenzaldehído (ppm) 219-428, descritas en NMX-FF-074-SCFI-2009.

## **2.6 Requerimientos climáticos del cultivo de la vainilla**

*Vanilla planifolia* es una especie que prospera en clima tropical cálido húmedo. Presenta los siguientes requerimientos para su cultivo:

### **2.6.1 Temperatura**

Las características de las regiones donde la vainilla prospera de forma adecuada son: temperaturas de 20° a 30 °C (Childers *et al.* 1948; Ranadive 2005) e incluso hasta 32 °C (Purseglove *et al.* 1981; Anandaraj *et al.* 2005).

### **2.6.2 Precipitación**

Requiere una precipitación media anual entre 2,000 a 3,000 mm (Sasikumar *et al.* 1992; Soto-Arenas 2003). También la planta necesita de dos a tres meses relativamente secos para estimular la floración. En lugares con una precipitación mayor a 3,000 mm anuales, las plantaciones tienen más ataque de hongos, principalmente por *Fusarium* sp. Por el contrario, en lugares con bajas precipitaciones y si no se tiene un sistema de riego, la escasez de agua constituye el peor enemigo de la vainilla.

### **2.6.3 Altitud**

La altitud que más favorece el cultivo de vainilla se encuentra entre 0 y 600 msnm (Childers *et al.* 1959) aunque se han encontrado plantas que crecen hasta los 1,100 msnm (Soto 2003) e incluso en India, se cultiva hasta los 1,500 msnm (Tv 2003; Anadararaj *et al.* 2005).

#### **2.6.4 Luz-sombra**

La planta de vainilla para su crecimiento óptimo requiere 50 % de luz o sombra en la mayor parte del año. Pero, en épocas secas con soles intensos, es preferible mantener una sombra de 50 a 70 % (Hernández 1943; Ranadive 2005) que permita conservar la humedad del suelo y del aire. Mientras que en los meses lluviosos, la cantidad de sombra debe ser de 30 a 50 % para evitar condiciones favorables al desarrollo de enfermedades.

#### **2.7 Requerimientos edáficos del cultivar**

Los terrenos en donde se establezcan vainillales deberán tener un excelente drenaje, ser ricos en humus y pH de 6 a 7 (Childers *et al.* 1959; Soto-Arenas 2003; Ranadive 2005); son preferibles aquellos terrenos que reciban la luz del sol por la mañana y no por la tarde, ya que el sol de la tarde es más intenso y puede llegar a quemar las hojas de las plantas (Sánchez 1993; Curti 1995; Soto-Arenas 2003).

#### **2.8 Requerimientos nutricionales del cultivar**

Entre las exigencias del cultivo de vainilla se destaca su nutrición, expresada en el tipo de sustrato de crecimiento y fertilización. Esta planta se caracteriza porque no desarrolla su sistema radical terrestre en el suelo mineral, sino en la materia orgánica proveniente de la descomposición de residuos vegetales y/o animales (Stéhlé 1954; Anilkumar 2004; Hernández 2011; Hernández y Lubinsky 2011). Por tal motivo, la fertilidad del suelo subyacente no es tan importante como lo es el tipo de sustrato orgánico que se utiliza (Davis 1983).

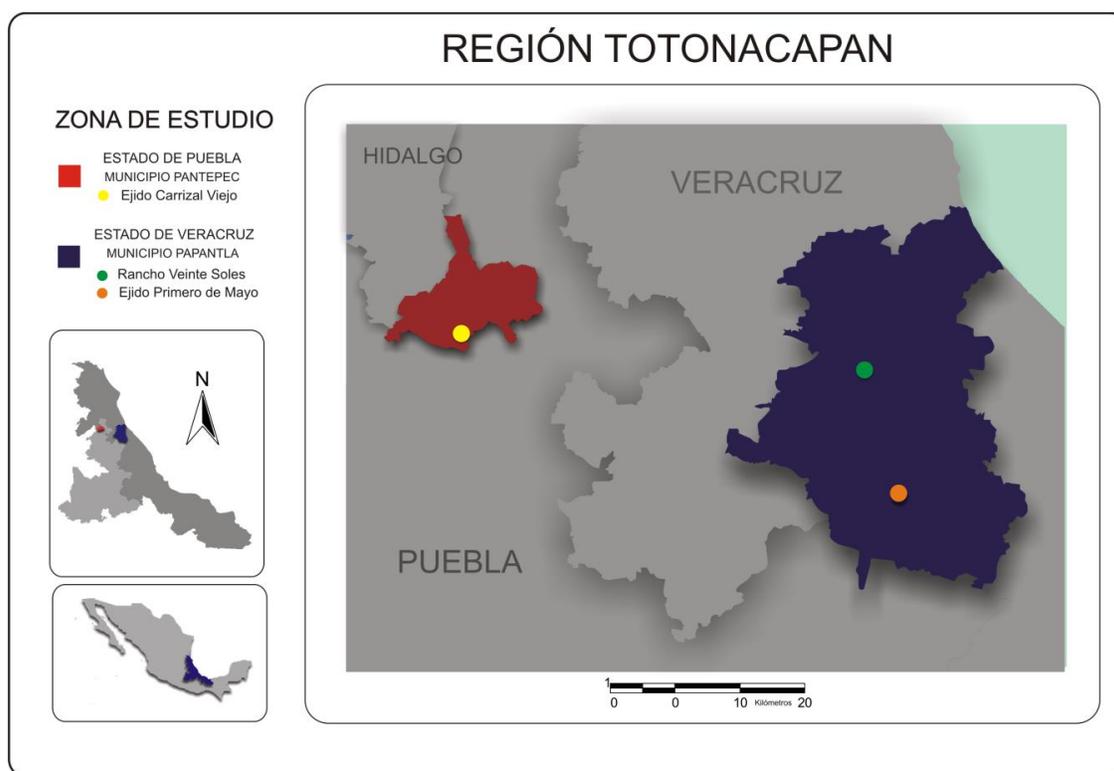
Los materiales orgánicos usados en el cultivo de vainilla varían ampliamente entre países, sin que aún se haya identificado los sustratos orgánicos que más favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los principales materiales orgánicos utilizados en el cultivo de vainilla son los residuos leñosos y foliares, procedentes de las podas de árboles y tutores (Hernández y Lubinsky 2011). No obstante, se observan otros tipos de experiencias al cultivar vainilla con aserrín, bagazo de caña, chips de madera, cascarilla de arroz, fibra de coco, cáscara de coco y vermicomposta, entre otros (Anilkumar 2004; Bianchessi 2004; Zhou *et al.* 2011).

En cuanto a los requerimientos de fertilización química y biológica de la vainilla, no existe mucha información disponible (Osorio *et al.* 2011). Se sabe que en los cultivos de la India, la aplicación anual por planta, distribuidas en dos o tres dosis, es de 40 a 60 g de nitrógeno, entre 20 y 30 g de  $P_2O_5$  y entre 60 y 100 g de  $K_2O$  ó 20:10:30 g de NPK (Anilkumar 2004; Sarma *et al.* 2011). Por otro lado, para promover el crecimiento de la planta se han empleado biofertilizantes a base de bacterias solubilizadoras de fósforo y fijadoras de nitrógeno tales como *Pseudomona fluorescens* y *Azospirillum* sp, respectivamente (Anilkumar 2004). Muchas de las cepas utilizadas con este fin han desempeñado roles como biocontroladores (Xia-Hong 2007; Bhai y Kumar, 2008; Radjacommare *et al.* 2010; Tombe y Liew 2011) especialmente con el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *Vanillae* que limita altamente la productividad de las plantas (Ploetz 2006; Xia-Hong 2007).

### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en tres localidades de la región Totonacapan, México. Ejido Carrizal Viejo, en el municipio de Pantepec de la Sierra Norte de Puebla; Ejido 1° de Mayo y Huerto “20 Soles”, en el municipio de Papantla, Veracruz (Figura 3).



**Figura 3.** Mapa de ubicación de los sitios de estudio en la Región Totonacapan.

##### 3.1.1 Ejido Carrizal Viejo, Pantepec, Puebla

La localidad Carrizal Viejo (Cuadro 1) del municipio de Pantepec, se ubica entre las coordenadas geográficas, 20° 30.280' N y 097° 53.389' O, a 290 msnm. La población cuenta con 602 habitantes (INEGI 2010). El clima es cálido - húmedo con abundantes lluvias en verano (63 %) y cálido subhúmedo con lluvias todo el año (37 %) (CONABIO 2012).

La formación de sus suelos fue en el Paleógeno (78.35 %), Cuaternario (17.58 %), Neógeno (2.95 %) y Cretácico (0.15 %). Los tipos de Roca que predominan en la región son Ígnea Extrusiva: basalto (2.95 %). Sedimentaria: lutita-arenisca (76.13 %), arenisca conglomerado (2.22 %) y calizalutita (0.15 %), los tipos de suelo que predominan en la región son Umbrisol (43.13 %), Vertisol (21.49 %), Phaeozem (16.92 %), Regosol (16.12 %) y Nitosol (1.26 %).

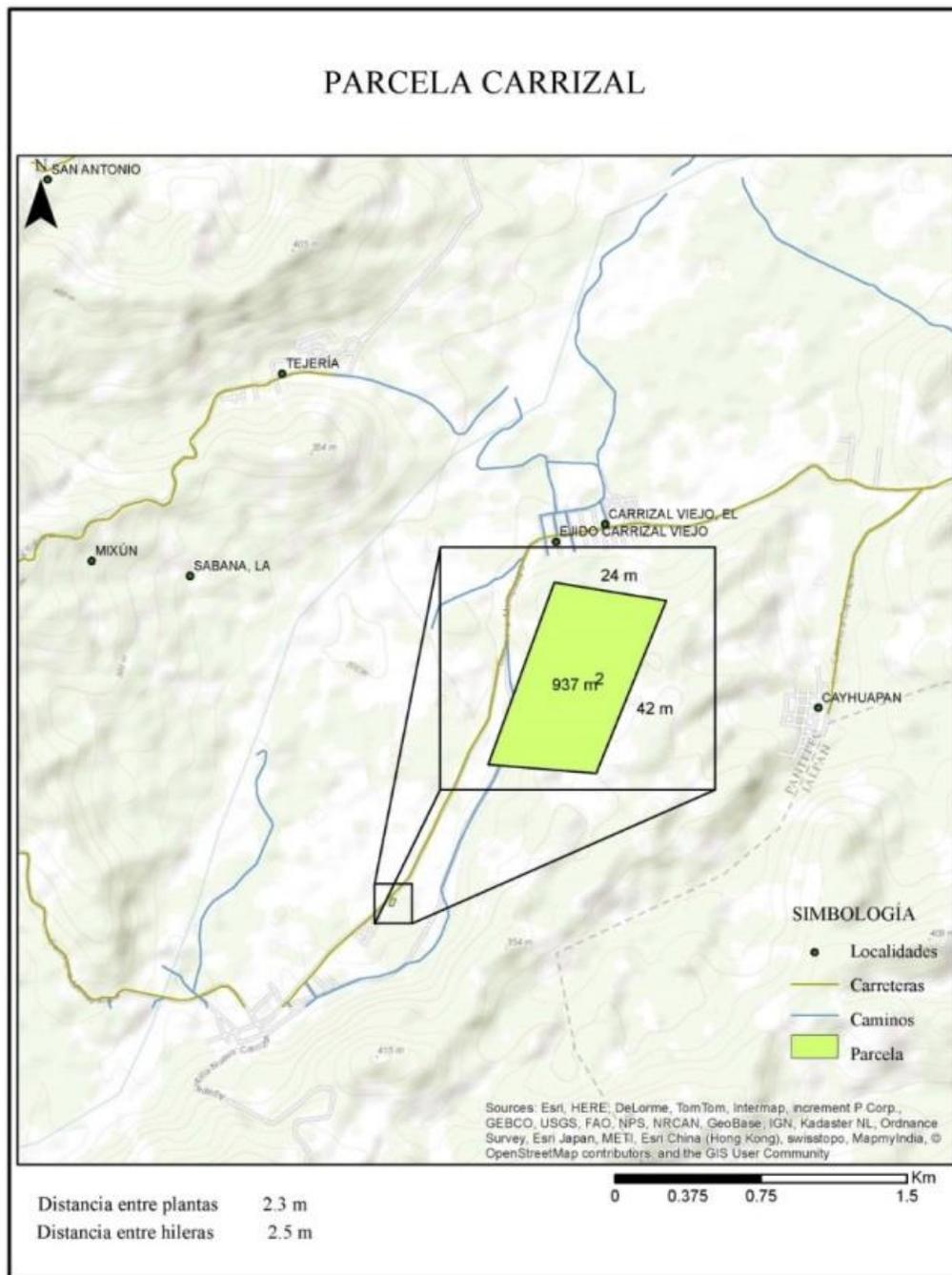
**Cuadro 1.** Sitios de estudio y sus características.

<b>Sitio</b>	<b>Carrizal Viejo, Pantepec, Puebla</b>	<b>1° Mayo, Papantla, Veracruz</b>	<b>20 Soles, Papantla, Veracruz</b>
<b>Coordenadas (UTM)</b>	20° 30.280' N 097° 53.389' O	20° 17.682' N 097° 15.915' O	20° 25.662' N 097° 18.790 O
<b>Tutor</b>	Columnas de cemento	Pichoco ( <i>Erythrina americana</i> )	Pichoco ( <i>Erythrina americana</i> )
<b>Sistema</b>	Malla sombra	Acahual	Malla sombra
<b>Altura (msnm)</b>	290	100	180
<b>Superficie (ha)</b>	0.937	0.8166	0.0309
<b>Riego</b>	Rodado	Rodado	Rodado

El sitio está incluido dentro de la región hidrológica Tuxpan – Nautla (100 %), la cuenca principal es Río Tuxpan (100 %) y la subcuenca es Río Pantepec (100 %), las corrientes de agua presentes son Perennes: Pantepec y Grande, Intermitentes: El Caliche, El Pahual, Las Lajas y Seco (INEGI 2010).

El sistema de producción de vainilla utilizado en el predio corresponde a “casa sombra” que maneja malla con un filtro de 30 % de luminosidad. El arreglo de las plantas presenta un diseño de diamante, el cual consiste en establecer una hilera de plantas y la próxima realizarla pero quedando en la parte media de la anterior hilera y así ir formando diamantes de 4 puntos por cada cuatro hileras a una distancia de 2.5 metros entre hileras y 2.3 metros entre tutores con planta. La

casa sombra consta de 10 hileras con 17 plantas cada una, sumando un total de 170 plantas en una superficie de 939.89 m<sup>2</sup> de vainillal (Figura 4).



**Figura 4.** Superficie de la parcela en estudio en la localidad Carrizal Viejo, Pantepec, Puebla.

El sistema utiliza riego rodado con manguera hidráulica de manera superficial y con una frecuencia de intervalos de cada tercer día sólo por la mañana Como prácticas culturales se

consideran: (1) encauzamiento de guías previo a tocar suelo, (2) saneamiento de partes dañadas por hongos y bacterias, (3) polinización manual, (4) adición de poca cantidad de composta de materia orgánica propia del lugar. El sistema de producción de vainilla está integrado con un apiario de abejas meliponas y cultivos de frijol, calabaza y chile, dentro de la casa sombra. En la parte externa lo circundan cultivos de mango, maíz, limón, mandarina y litchi.

### **3.1.2 Papantla**

El municipio de Papantla está ubicado entre los paralelos 20° 09' y 20° 41' de latitud norte y los meridianos 97° 06' y 97° 32' de longitud oeste, a una altura que oscila entre los 10 y 300 msnm (Cuadro 1) (INEGI 2010). El clima que predomina en el municipio de Papantla es Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (28 %). Su precipitación anual oscila entre 1100 a 1600 mm, con temperaturas entre 22 y 32 °C (CONABIO 2012).

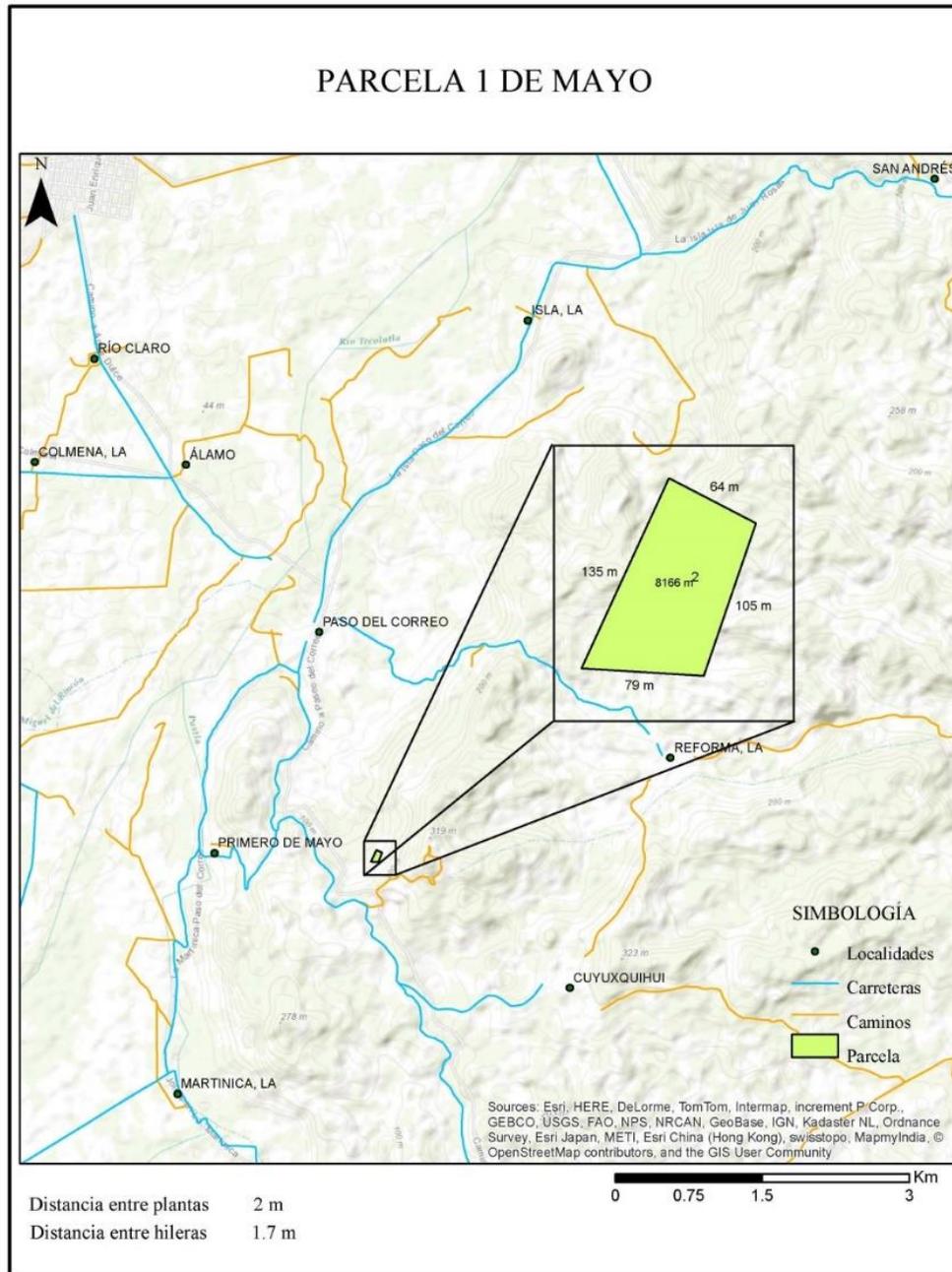
La formación de suelos se dio principalmente en el Neógeno (57.82 %), Paleógeno (27.05 %) y Cuaternario (13.43 %). Los tipos de roca que existen son ígnea extrusiva: ceniza volcánica (6.23 %), basalto (3.10 %) y toba ácida (1.58 %) Sedimentaria: arenisca (46.91 %) y lutita-arenisca (27.05 %), los tipos de suelo que predominan son Regosol (67.52 %), Vertisol (14.63 %), Phaeozem (10.45 %), Cambisol (5.47 %) y Luvisol (0.23 %).

En cuanto a Hidrografía, la región hidrológica predominante es Tuxpan-Nautla (100 %). La cuenca principal es Río Tecolutla (58.12 %), Río Cazonas (35.88 %), Nautla y Otros (6 %). Las subcuencas son Río Tecolutla (52.92 %), Estero de Tumilco (30.26 %), Arroyo Solteros (6 %), Río Joloapan (5.20 %), Río Cazonas (4.33 %) y Río San Marcos (1.29 %) y las corrientes de agua principales son Perennes: Cazonas, Tenixtepec, Tlahuanapa, Tecolutla, Las Lajas, Colorado, Joloapan, Blanco, Chichicatzapan, Zotusco, Cucharas y Solteros; Intermitentes: Troncones, La Antigua, Cuatro Arroyos, El Cepillo, Cañas, San Miguel, La Guásima e Indio (INEGI 2010).

En Papantla se dio seguimiento al cultivo en las localidades de 1° de Mayo ubicada a N 20° 17.682' y O 097° 15.915' con sistema Acahual y tutor Pichoco (*Erythrina* spp.), y en el Huerto

20 Soles camino por prolongación Díaz Mirón, a N 20°25.662' y O 097°18.790 con el mismo tutor, pero con sistema Malla sombra (Cuadro 1).

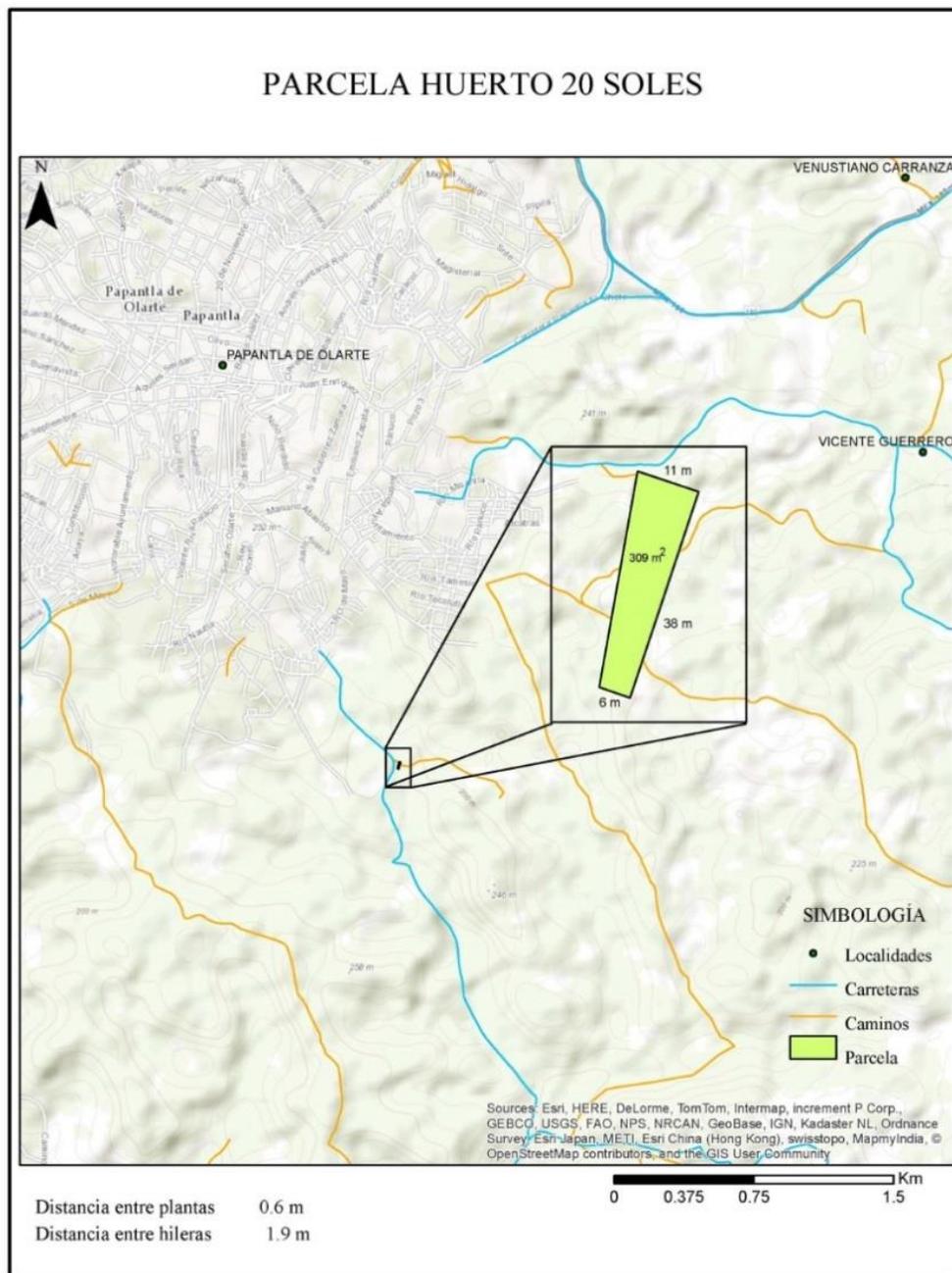
En el Ejido 1° de Mayo (Cuadro1) la plantación se encuentra en diamante con una distancia entre plantas de 2 metros y 1.70 metros entre hileras, la parcela está en un lomerío con pendiente, su riego es rodado con manguera hidráulica. Densidad de plantación 220 plantas en una superficie de 8,166 m<sup>2</sup> (Figura 5), las labores culturales son la incorporación al suelo de materia orgánica originada de la vainilla y pichoco, se realiza el encauzamiento de guías y la polinización manual. También se hace el beneficiado de la vainilla.



**Figura 5.** Superficie de la parcela en estudio en 1° de Mayo, Papantla, Veracruz.

En el Huerto 20 Soles (Figura 6) la plantación es intensiva y la distancia entre plantas es de 0.60 metros y entre hileras de 1.90 metros con una densidad de plantas de 126 plantas en una superficie de 309.78 m<sup>2</sup> (Cuadro 1), las labores culturales sobresalientes son el encalado para enfermedades, la incorporación de materia orgánica originada de todas las especies del huerto y la polinización manual. También se realiza el beneficiado de la vainilla, los propietarios son

acopiadores y empacadores y la venden al mayoreo y menudeo, además cuentan con su marca propia.



**Figura 6.** Superficie de parcela en estudio Huerto en 20 Soles, Papantla, Veracruz.

### 3.2 Caracterización de ambientes agroecológicos

El procedimiento incluyó la construcción de mapas en el programa Arc-View a través de los datos obtenidos de la CONABIO, se consideraron las siguientes variables: Temperatura media anual, Altitud, Suelo, Clima, Precipitación media anual y Humedad relativa del suelo (Cuadro 2). Posterior a esto se realizó la comparación entre ambientes similares del Sistema de producción Malla – Sombra, en las localidades Carrizal Viejo y Huerto 20 Soles.

**Cuadro 2.** Factores del clima de las tres localidades utilizadas en la caracterización de ambientes agroecológicos.

Sitio	Temperatura Media Anual	Sensor de humedad relativa	Precipitación Media Anual	Clima	Altitud msnm	Suelo
Carrizal Viejo	semicálida	300	1750	Am(f)	290	Arcilla
20 Soles	cálida	225	1000	Aw1(x´)	180	Franco
1° de Mayo	cálida	300	1350	Aw2(x´)	100	Arcilla

#### 3.2.1 Material vegetal

En cada localidad se seleccionaron al azar 12 plantas de *Vanilla planifolia* G. Jack , mediante un sorteo de todas las plantas existentes en cada sitio, de las cuales se colectaron frutos durante el periodo de cosecha de vainas.

### 3.3 Determinación de rendimiento

La selección de variables para estimar rendimiento se realizó a partir de una revisión bibliográfica en algunos cultivos donde se han evaluado diversos aspectos agronómicos ( Córdova 1992; Herrera *et al.* 2000; Asprelli 2005; Maqueira *et al.* 2007), biológicos y fisiológicos (Peralta 1988; Santiago 1998; Tornés *et al.* 2008) climáticos (Natali *et al.* 2005;

Hernández 2008). Y se consideró un modelo de rendimiento en Vainilla propuesto por Menon *et al.* (2002).

La estimación de las variables de rendimiento en vainilla se analizó a través de cuatro grupos de variables: Agronómicas (Cuadro 3), fisiológicas (Cuadro 4), climáticas (Cuadro 5) y edáficas (Cuadro 6). A partir de ello se seleccionaron las variables de rendimiento en vainilla.

**Cuadro 3.** Variables agronómicas evaluadas en los tres sitios de estudio del Totonacapan Puebla-Veracruz

<b>Variables</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Unidad</b>
<b>1. Longitud de vaina</b>	<b>Lvaina</b>	<b>cm</b>
<b>2. Altura de planta</b>	<b>Aplanta</b>	<b>cm</b>
<b>3. Ancho apical de vaina</b>	<b>Avainaa</b>	<b>mm</b>
<b>4. Ancho ecuatorial de vaina</b>	<b>Aecuatorialv</b>	<b>mm</b>
<b>5. Ancho basal de vaina</b>	<b>Abasalv</b>	<b>mm</b>
<b>6. Diámetro apical de vaina</b>	<b>Dapicalv</b>	<b>mm</b>
<b>7. Diámetro ecuatorial de vaina</b>	<b>Decuatorialv</b>	<b>mm</b>
<b>8. Diámetro basal vaina</b>	<b>Dbasalv</b>	<b>mm</b>
<b>9. Diámetros apical de tallo</b>	<b>Dtallosa</b>	<b>cm</b>
<b>10. Diámetros ecuatorial de tallo</b>	<b>Dtalloe</b>	<b>cm</b>
<b>11. Diámetros basal de tallo</b>	<b>Dtallob</b>	<b>cm</b>
<b>12. Peso fresco de vaina</b>	<b>Pfresco</b>	<b>g</b>
<b>13. Longitud de entre nudos</b>	<b>Lnudos</b>	<b>cm</b>
<b>14. Longitud de esqueje no reproductivo</b>	<b>Lonnrep</b>	<b>cm</b>
<b>15. Longitud de esqueje reproductivo</b>	<b>Lonrep</b>	<b>cm</b>
<b>16. Distancia entre plantas</b>	<b>Dplanta</b>	<b>m</b>
<b>17. Flores polinizadas</b>	<b>Fpoli</b>	<b>No</b>
<b>18. Flores totales</b>	<b>Ftotal</b>	<b>No</b>
<b>19. Número de vainas</b>	<b>Nfruto</b>	<b>No</b>
<b>20. Número de hojas</b>	<b>Nhoja</b>	<b>No</b>
<b>21. Incidencia</b>	<b>Inciden</b>	<b>%</b>

<b>22. Severidad</b>	<b>Severi</b>	<b>%</b>
<b>23. Brotes vegetativos</b>	<b>Bvege</b>	<b>No</b>
<b>24. Brotes reproductivos</b>	<b>Brepro</b>	<b>No</b>
<b>25. Número de frutos abortados</b>	<b>Naborto</b>	<b>No</b>
<b>26. Numero de racimos</b>	<b>Nracimo</b>	<b>No</b>
<b>27. Numero de vainas por inflorescencia</b>	<b>Nvainain</b>	<b>No</b>
<b>28. Distancia entre hileras</b>	<b>Dhileras</b>	<b>m</b>

**Cuadro 4** Variables fisiológicas evaluadas en el Huerto 20 soles en Papantla, Veracruz

<b>Fisiológicas</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Unidad</b>
<b>1. Fotosíntesis</b>	Foto	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>2. Concentración interna de CO<sub>2</sub></b>	Cco	$\mu\text{mol}^{-1}$
<b>3. Transpiración</b>	Transpi	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>4. Temperatura ambiente de la cámara</b>	Tcamara	°C
<b>5. Temperatura de la hoja</b>	Thoja	°C
<b>6. Radiación fotosintéticamente activa</b>	Rfotoa	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>7. Índice estomático</b>	Iestoma	%

**Cuadro 5** Variables climáticas evaluadas en los tres sitios de estudio del Totonacapan

<b>Climáticas</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Unidad</b>
<b>1. Temperatura máxima mensual</b>	Tmáx	C°
<b>2. Temperatura mínima mensual</b>	Tmin	C°
<b>3. Humedad relativa</b>	Hrela	%
<b>4. Intensidad luminosa</b>	Ilumi	Lux

**Cuadro 6.** Variables edáficas evaluadas en los tres sitios de estudio del Totonacapan

<b>Suelo</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Unidad</b>
<b>1. Cuerpo textural</b>	Ctextu	cm/h (Darcy)
<b>2. pH</b>	Ph	unidades
<b>3. Conductividad eléctrica</b>	CE	meq/100g
<b>4. Capacidad de Intercambio Catiónico</b>	CIC	Siemens/cm (S/cm)
<b>5. Contenidos nutrimentales</b>	Cnutri	mg

### 3.3.1 Variables Agronómicas y morfológicas

**Longitud de la vaina (Lvaina):** en centímetros (cm) fue evaluada con una cinta métrica desde la parte basal de cada vaina hasta su ápice, Se consideraron las doce plantas seleccionadas en cada sitio así como el total de vainas de cada planta, esto se realizó en la cosecha.

**Altura de planta (Aplanta):** en centímetros (cm) se midió con una cinta métrica desde la parte basal hasta la punta de la planta.

**Diámetro apical de vaina (Dapicalva), Diámetro ecuatorial de vaina (Decuatorialv), Diámetro basal de vaina (Dbasalv), Ancho apical de vaina (Aapicalv), Ancho ecuatorial de vaina (Aecuatorialv) Ancho basal de vaina (Abasalv):** con un vernier electrónico Mitutoyo se midieron en milímetros (mm) tres puntos de la vaina: Anchos de manera horizontal opuesta a la línea dehiscente de la vaina en las partes apical punta de la vaina, ecuatorial y basal parte aún conectada al racimo; Diámetros de manera que abarca la línea dehiscente de la cápsula en los tres puntos apical, ecuatoria y basal.

**Diámetro de tallo (Dapicalt, Decuatorialt y Dbasalt):** se midió en tres estratos de la planta, apical, ecuatorial y basal, antes de floración.

**Peso de fruto (Pfruto):** en gramos (g) se realizó un solo corte de cosecha en el mes de diciembre, y se pesó cada vaina con una balanza OHAUS Scout Pro. Para obtener el peso seco (pseco) se tomó su peso después de secar en estufa a 60 °C, a las 24 horas y 48 horas.

**Longitud de entrenudos (Dnudos):** en centímetros (cm) se realizó la medición con cinta métrica en cada planta antes de floración y durante la brotación a lo largo de todos los esquejes evaluados

**Longitud de esqueje reproductiva (Lonrepro):** en centímetros (cm) se midió con una cinta métrica a partir de donde se observaron caracteres sexuales (flores).

**Longitud de esqueje no reproductiva (Lonnorepro):** en centímetros (cm) se midió con cinta métrica desde la base de la planta hasta donde iniciaban los caracteres sexuales (flores).

**Distancia entre plantas (Dplanta):** en centímetros (cm) se midió con cinta métrica la distancia entre plantas y entre hileras.

**Flores polinizadas (Fpoli):** contadas cuando se había llevado a cabo la polinización una semana después.

**Flores totales (Ftotal):** se contaron en plena floración

**Número de vainas (Nvainas):** vainas por planta, se contaron todas las vainas al momento de la medición.

**Número de hojas por planta (Nhojas):** se consideraron en dos ocasiones durante el crecimiento de vainas del ciclo anterior y antes de la floración.

**Incidencia:** se evaluó respecto a la fórmula de Ogawa (1986), donde se establece que la incidencia es igual al número de individuos enfermos entre el número de individuos totales por cien. Para su determinación se consideraron dos valores, donde el valor 2 representa presencia y 1 ausencia, para dar lugar a esto se realizó un muestreo estratificado linealmente (Robertson 2008) con observación de signos (producción de estructuras características del agente causal o bien, productos de la enfermedad) (Rivera 2007) y síntomas (manifestaciones visibles de una enfermedad infecciosa) (Arauz 1998).

Así mismo se recurrió al uso de la siguiente fórmula usada por Ogawa (1986) para obtener el porcentaje de incidencia.

$$\text{Porcentaje de incidencia} = \frac{\text{No. de individuos}}{\text{Total de individuos}} \times 100$$

**Severidad:** se propuso una escala de daño para *Fusarium* spp. en hojas, de acuerdo a los signos y síntomas observados característicos de este agente causal, donde se establecieron los siguientes valores (Cuadro 7): categoría uno con un intervalo de cero lo cual representa sin daño a la hoja categoría 2 con un intervalo de 25 con una presencia de más de 15 y hasta 30 % de área foliar dañada, categoría 3 con un intervalo de 50 lo cual representa más de 30 y hasta 50 % de área foliar dañada, categoría 4 con un intervalo de 75 lo cual representa más de 50 y hasta 75 % de área foliar dañada y categoría 5 con un intervalo de 100 lo cual representa más de 75 y hasta 100 % del área foliar dañada.

**Cuadro 7.** Escala de severidad de *Fusarium* sp. en Vainilla

Categoría	Intervalo	Descripción
1	0	Sin daño
2	25	Más de 15 % y hasta 30 % de área foliar dañada
3	50	Más de 30 % y hasta 50 % de área foliar dañada
4	75	Más de 50 % y hasta 75 % de área foliar dañada
5	100	Más de 75 % y hasta 100 % de área foliar dañada

**Número de brotes por esqueje (brotevege y broterepto):** se consideró a los vegetativos y a los reproductivos de acuerdo a la experiencia de los productores para diferenciarlos cuando un brote terminaba en punta delgada se consideró como botón floral (broterepto) y si terminaba en punta redonda se consideró como (brotevege) dicha experiencia se observó y se comprobó a lo largo de las mediciones, cada brote se contó en las doce plantas previo a floración.

**Días a floración (Dflora):** se consideró el tiempo transcurrido desde la cosecha hasta el día en que inicio la floración, es decir en que apareció la primera flor en cada vainilla.

**Número de frutos abortados (Naborto):** una vez polinizadas las flores se prosiguió a dar seguimiento al conteo mensual de vainas para registrar el porcentaje de frutos caídos.

**Número de racimos (Nracimo):** se contabilizó el número total de racimos de flores por planta.

**Número de vainas por inflorescencia (Nvainain):** se contaron una vez polinizadas y en crecimiento.

**Días a cosecha (Dcose):** se consideraron a partir de los tres meses sugeridos en otras investigaciones en los cuales se observa el aborto de fruto; a partir de esa fecha se contabilizaron los días.

**Días a primer corte (Dpcorte):** se contaron a partir del inicio del mes de Diciembre.

**Número de cortes (Ncorte):** se contaron a partir de los primeros cortes realizados por cada agricultor.

**Distancia entre hileras (Dhilera):** Se midió con una cinta métrica en metros la distancia entre hileras de las plantas.

### 3.3.2 Variables Fisiológicas

se evaluaron 6 variables con un fotosintetómetro (IRGA) portátil modelo LI-6200 (Li-Cor, Inc, Nebraska, USA), instrumento que mide el intercambio de CO<sub>2</sub> de la hoja con la atmósfera, dicho instrumento para calcular la tasa de fotosíntesis funciona con el principio de utilizar la tasa neta de cambio de CO<sub>2</sub>, el área foliar empleada, el volumen de la cámara, volumen del sistema, presión atmosférica, humedad relativa, temperatura, intensidad luminosa, además de la concentración de CO<sub>2</sub> del área adyacente a la hoja.

Las variables consideradas para este estudio fueron: Fotosíntesis en  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , Concentración interna de CO<sub>2</sub> en  $\mu\text{mol}^{-1}$ , Transpiración de agua evaporada por metro cuadrado de la hoja por segundo ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), Temperatura ambiente en la cámara en grados centígrados (°C), Temperatura de la hoja en grados centígrados (°C) y Radiación fotosintéticamente activa en  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Se prosiguió a elegir 7 plantas al azar en el Huerto 20 Soles en Papantla, Veracruz, de cada planta se consideró la hoja 6 y la hoja 12 como una primera toma de datos en la etapa fenológica de reposo de la planta, después de un mes de haber sido cosechada. Cuatro meses después se realizó una segunda toma de datos, en la etapa de crecimiento de vaina, donde se eligieron nuevamente 7 plantas. La medición de las variables se hizo en las hojas jóvenes pero con el factor de ser productiva en esa parte o no productiva refiriéndose a si presentaba o no vainas cerca de la hoja a evaluar.

#### **Índice estomático (Iestoma)**

Se utilizaron 10 plantas de vainilla establecidas en invernadero de una edad aproximada de 180 días, donde se consideró a partir de la punta a la base de la planta, a las hojas 5 y 10, de esas hojas se tomaron impresiones en barniz de la parte abaxial, y se observó la disposición e índice estomático en un microscopio Olympus en un campo de 40 x.

Se realizaron impresiones epidérmicas de las hojas 5 y 10; la técnica consistió en la aplicación de barniz para uñas transparente en un área pequeña (cerca de 50 mm<sup>2</sup>) en la superficie abaxial de la hoja. Después de que el barniz se secó, por aproximadamente 15 minutos, la capa fue removida y

montada en un portaobjetos. Se tomaron dos muestras de cada hoja en la región de la parte central.

El índice estomático (IE) se calculó utilizando la fórmula de Salisbury (1928):

$$IE = NE / (CE + NE) \times 100$$

Donde:

NE= Número de Estomas

CE= Número de Células Epidérmicas

### **3.3.3 Variables Climáticas**

Temperatura máximas (Tmáx) diarias en grados centígrados °C, Temperatura mínimas (Tmin) en grados centígrados (°C), Humedad relativa (Hrela) en porcentaje (%) y la intensidad luminosa (Ilumi) todas obtenidas a través de haber colocado un Data Logger marca HOBO H8, sensor para detectar todas estas variables, puesto en cada localidad a partir del inicio del estudio. Se obtuvieron los promedios diarios mensuales por cada localidad.

### **3.3.4 Características físicas y químicas de suelo**

Se realizaron en el laboratorio de química de suelos de la especialidad de Edafología. Se consideró a las tres localidades, las muestras fueron obtenidas a 30 cm de profundidad del suelo.

**Variables físicas:** Textura (Textura), Materia Orgánica (MO) en %, Cuerpo Textural (Ctextu), Arena (Arena) en %, Arcilla (Arcilla) en % y Limo (Limo) en %.

**Variables químicas:** pH, Conductividad eléctrica (CE), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y Contenidos nutrimentales (Cnutri).

### **3.4 Diseño experimental**

En promedio una plantación de vainilla da su primera cosecha a los tres años, por lo que a fin de evaluar diferentes plantas en producción ya establecidas, se consideró a 24 plantas de Vainilla planifolia G. Jacks en tres localidades: seis en Primero de Mayo y nueve en el Huerto 20 soles, en el municipio de Papantla, Veracruz, y nueve en Carrizal viejo, Pantepec, Puebla 3.4.1 Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza (ANOVA) entre sitios para cada uno de los caracteres cuantificados bajo el diseño de bloques completamente al azar (PROC GLM SAS). El análisis de los datos obtenidos se llevó a cabo con el software estadístico SAS System 9.0 (1995). La comparación de medias en los sitios se calculó con base en la media armónica ( $n$ ), mediante la prueba de Tukey PROC GLM SAS, 1995) para las variables agronómicas. Con el propósito de reducir la dimensión del conjunto de datos, así como encontrar grupos en los datos de acuerdo a la combinación lineal de las variables originales que sean independientes entre sí, fue que se realizó análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados. Para las variables fotosintéticas se realizó una prueba de medias por haber sido tomadas solamente en una localidad, para referenciar el resultado como una observación.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron en la presente investigación se presentan de acuerdo al grupo de variables evaluadas que abarcaron el objetivo principal.

### 4.1 Variables Agronómicas

Posterior a la evaluación de las distintas variables agronómicas, se obtuvo del análisis de varianza los siguientes resultados (Cuadro 8). Se encontró que las variables Altura de planta, Ancho de vaina apical, Ancho de vaina basal, Ancho de vaina ecuatorial, Brotes reproductivos, Brotes vegetativos, Distancia entre hileras, Distancia entre plantas, Diámetro vaina apical, Diámetro vaina basal, Diámetro vaina ecuatorial, Incidencia, Longitud de vaina, Número de frutos, Número de hojas, Peso fresco y Severidad mostraron ser altamente significativas estadísticamente ( $p \leq 0.01$ ) por sitio.

Para la variable Altura de planta se puede explicar que dichas diferencias se deben a que el tipo de suelo en cada localidad posee distintos niveles de micro y macronutrientes útiles para el alargamiento de la misma. También, los brotes reproductivos y vegetativos que posteriormente se traducen en flores y en número de frutos también dependen de la nutrición, cantidad de agua disponible, así como de las características climáticas del lugar. Existen ejemplos de lo anterior en otros cultivos, así el déficit de irrigación en durazno afecta directamente el crecimiento del árbol y de los frutos (Buendía *et al.* 2008; López *et al.* 2010). El tamaño de fruto en tomate no depende únicamente del número, debido a que cuando hay temperaturas altas (mayores de 38 °C) puede ocurrir una mala o nula fecundación y por lo tanto, los que tienen una mala fecundación no tienen una gran cantidad de semillas, en consecuencia se obtienen frutos pequeños y mal formados (Steiner 1961). Ho (1996) dice que el tamaño potencial del fruto de *Solanum lycopersicum* está definido por el número de células del ovario fijado en pre-antesis, mientras que su tamaño real es consecuencia del alargamiento celular durante el período de crecimiento rápido. En manzana, el costo de energía de la planta cuando hay inducción floral que posteriormente se traducen en frutos es alto y la cantidad de fotoasimilados puede ser deficiente (Lakso y Denning 1996; Lakso *et al.* 1999; Walton *et al.* 1999) y, bajo condiciones de recursos

escasos como nutrientes y fotoasimilados, se limita la producción de flores (Wünsche y Ferguson 2005).

**Cuadro 8.** Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios por sitio y sitio (planta) de las 28 variables agronómicas de vainilla en los tres sitios de estudio del Totonacapan.

Variable	Media	Coeficiente de Variación	Cuadrados Medios	
			Sitio	Sitio (planta)
Altura de planta (cm)	721.20	9.94	960189.56**	225221.87**
Ancho apical v (mm)	11.55	14.93	96.21**	5.41ns
Ancho basal v(mm)	10.46	16.50	181.23**	9.03**
Ancho ecuatorial v (mm)	10.77	15.82	76.07**	7.91*
Brote reproductivo (No.)	5.75	28.55	56.94**	2.70**
Brote vegetativo (No.)	9.42	31.07	126.03**	8.56**
Distancia entre hileras (m)	2.08	0.00	1.37**	0.00**
Distancia entre nudos (cm)	9.67	10.98	0.63ns	1.13ns
Distancia entre plantas (m)	1.59	0.00	7.18**	0.00**
Diámetro apical t (cm)	2.96	23.67	0.22ns	0.50ns
Diámetro basal t(cm)	3.66	12.02	0.13ns	0.19ns
Diámetro ecuatorial t (cm)	3.89	18.42	0.22ns	0.51ns
Diámetro apical v (mm)	12.82	14.75	90.98**	10.43**
Diámetro basal v (mm)	11.63	12.94	232.61**	9.1**
Diámetro ecuatorial v (mm)	13.23	12.35	55.10**	11.72**
Flores polinizadas (No.)	27.46	91.82	1223.09ns	635.70ns
Flores totales (No.)	37.38	89.16	1127.95ns	1110.56ns
Incidencia (%)	1.79	6.01	0.41**	0.64**
Longitud de esqueje no reproductivo (cm)	494.91	52.48	536398.58*	67484.36*
Longitud de esqueje reproductivo (cm)	355.38	40.89	112903.48*	21126.29*
Longitud de vaina (cm)	18.45	12.33	229.59**	15.86**
Número de abortos (No.)	3.54	40.76	10.09ns	2.68ns
Número de frutos (No.)	9.00	32.74	164.81**	8.69**
Número de hojas (No.)	105.32	13.58	2464.01**	1085.60**
Número de racimo (No.)	7.58	103.10	148.03ns	61.13ns
Número de vainas por inflorescencia (No.)	25.50	99.45	1437.56ns	643.19ns
Peso fresco v (g)	14.27	24.64	163.88**	93.62**
Severidad (%)	1.74	11.50	11.53**	1.63**

\*\* = diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ); \* = diferencias significativas; ns = diferencias no significativas; v = vaina; t = tallo.

En el caso de vainilla, al ser una planta de metabolismo ácido crasuláceo (MAC) , se puede inferir que la cantidad de fotoasimilados cuando ocurre la floración pudiera ser baja debido a que su nutrición es deficiente y la energía que utiliza es dividida para diferentes funciones de la planta, además de la fase crítica de floración.

La humedad relativa juega un papel importante en el caso de la incidencia y severidad de *Fusarium* spp., pues favorece la aparición del hongo cuando los niveles de HR son altos, esto se corrobora más adelante con los valores medios de precipitación por sitio y además pudiera relacionarse con que en el sitio 1° de Mayo, el sistema Acahual genera una humedad relativa más alta que en Pantepec y en Papantla, donde el sistema de producción es en malla sombra.

Así también, en el Cuadro 8 se muestran dos grupos de variables, con significancia estadística, de acuerdo a los coeficientes de variación. El primer grupo comprendió las variables Altura de planta, Ancho apical de vaina, Ancho basal de vaina, Ancho ecuatorial de vaina, Distancia entre hileras, Distancia entre plantas, Diámetro apical de vaina, Diámetro ecuatorial de vaina, Diámetro basal de vaina, Incidencia, Longitud de Vaina, Severidad y peso fresco de vaina con un intervalo de C.V. del 0 a 24.64 % de variación y el segundo grupo con un Coeficiente de variación alto lo formaron Brote reproductivo, Brote vegetativo, Longitud de esqueje reproductivo, Longitud de esqueje no reproductivo y Número de frutos en un intervalo de C.V., del 28.55 a 52.48 %.

El tamaño del fruto en sus diversas dimensiones pudiera deberse a la nutrición no homogénea en los sitios de estudio y probablemente a la falta de ácido giberélico, pues de acuerdo a lo observado los productores no hacen aplicación de hormonas. El ácido giberélico es conocido por tener la capacidad de redistribución de recursos específicamente de carbohidratos, resultando en el crecimiento del fruto (Iqbal *et al.* 2011; Zhang *et al.* 2007). También el tamaño de la cápsula de la vainilla puede ser debido a que posee una cantidad alta de compuestos fenólicos, porque en noni se ha encontrado una estrecha relación entre el tamaño del fruto y el contenido de compuestos fenólicos (Lin *et al.* 2014). En el sitio 1° de Mayo se obtuvieron los frutos más grandes y más pesados, esto pudiera ser debido a su concentración interna de compuestos fenólicos.

Calvert (1957) menciona que existe una interacción entre temperatura e iluminación tal que a temperaturas bajas con iluminación baja se ve favorecida la formación de flores en plantas cultivadas. Mientras que Kinet (1977) menciona que las temperaturas elevadas aceleran generalmente el desarrollo de las flores pero también pueden aumentar la incidencia del aborto de las yemas. En algodón se ha encontrado que la luz es un factor importante en el crecimiento de la planta (Mao *et al.*2014). En vainilla, la malla sombra que utilizan actualmente los productores de Pantepec y del Huerto 20 Soles tiene más de 5 años de uso y su capacidad de protección de luz que debiera ser al 80 % ha disminuido, por lo que se tiene una mayor cantidad de luz en el cultivo y las actividades fisiológicas tienen la posibilidad de verse afectadas, y en el sitio 1° de Mayo, el sistema de Acahual permite la adecuada iluminación de las plantas al ser podado con regularidad para regular la iluminación del mismo.

Con la finalidad de encontrar las diferencias entre las medias se realizó la prueba de Tukey, en las variables significativas, para las plantas dentro de los sitios de estudio (Cuadro 9). Por ejemplo, se observó que la severidad de *Fusarium* sp., mostró diferencias entre las plantas en los tres sitios, y fueron las plantas de 1° de Mayo las que estadísticamente presentaron la mayor presencia de *Fusarium*, seguida del Huerto 20 Soles en Papantla y Pantepec en Puebla, Esto pudiera ser porque en 1° de Mayo, además de tener sistema de Acahual posee mayor humedad relativa que en Pantepec donde su sistema de producción es malla sombra, al igual que en el Huerto 20 Soles en Papantla.

Así mismo, de acuerdo a la escala para la severidad de *Fusarium* sp., el Ejido 1° de Mayo presentó en su media un valor de 2.43; es decir, más de 30 % y hasta 50 % del área foliar por planta dañada, y para Papantla se obtuvo una media de 1.59 %, más de 15 % y hasta 30 % del área foliar dañada y Pantepec mostró una media de 1.30 también con más de 15 % y hasta 30 % del área foliar dañada. También la selección de esquejes que pudieran presentar algún signo y síntoma de la enfermedad pudiera ser un factor que propaga el patógeno. A las manifestaciones visibles de una enfermedad infecciosa se les denomina síntomas (Arauz 1998); así en determinadas enfermedades, además de los síntomas, se presentan signos. Éstos pueden ser la producción de estructuras características del agente causal o bien, productos de la enfermedad

(Rivera 2007). Los hongos producen una necrosis local o general o la muerte de los tejidos vegetales que infectan, hipertrofia e hipoplasia o atrofia de plantas completas o de sus órganos, e hiperplasia o crecimiento excesivo de ellas o de algunos de sus órganos (Agrios 2005).

**Cuadro 9.** Medias para cada una de las 20 variables agronómicas evaluadas en los tres sitios de estudio del Totonacapan para *Vanilla planifolia* G. Jacks.

<b>Variables</b>	<b>1° de Mayo</b>	<b>Papantla</b>	<b>Pantepec</b>
Longitud de vaina( cm )	18.67 <sup>a</sup>	19.60 <sup>a</sup>	14.92 <sup>b</sup>
Ancho basalv (mm )	11.90 <sup>a</sup>	10.46 <sup>b</sup>	7.68 <sup>c</sup>
Diámetro ecuatorialv (mm)	14.13 <sup>a</sup>	13.16 <sup>b</sup>	11.68 <sup>c</sup>
Diámetro basalv (mm)	13.26 <sup>a</sup>	11.60 <sup>b</sup>	8.58 <sup>c</sup>
Ancho ecuatorialv (mm)	11.90 <sup>a</sup>	10.46 <sup>b</sup>	9.42 <sup>c</sup>
Peso fresco vaina(cosecha) (g)	15.03 <sup>a</sup>	14.93 <sup>a</sup>	10.98 <sup>b</sup>
Diámetro apicalv (mm)	13.90 <sup>a</sup>	12.79 <sup>b</sup>	10.75 <sup>c</sup>
Ancho apicalv (mm)	12.75 <sup>a</sup>	11.34 <sup>b</sup>	9.81 <sup>c</sup>
Altura de planta (cm)	1000.12 <sup>a</sup>	659.65 <sup>b</sup>	596.81 <sup>c</sup>
Número de hojas (No)	114.66 <sup>a</sup>	109.44 <sup>a</sup>	94.96 <sup>b</sup>
Incidencia	1.70 <sup>b</sup>	1.89 <sup>a</sup>	1.71 <sup>b</sup>
Severidad (%)	2.43 <sup>a</sup>	1.59 <sup>b</sup>	1.30 <sup>c</sup>
Número vainas (No)	12.16 <sup>a</sup>	11.66 <sup>a</sup>	4.22 <sup>b</sup>
Número abortos (No)	3.66 <sup>ab</sup>	4.55 <sup>a</sup>	2.44 <sup>b</sup>
Brotes vegetativos (No)	13.66 <sup>a</sup>	10.44 <sup>a</sup>	5.55 <sup>b</sup>
Brotes reproductivos (No)	8.55 <sup>a</sup>	6.55 <sup>a</sup>	3.11 <sup>b</sup>
Distancia entre planta (m)	2.00 <sup>b</sup>	0.60 <sup>c</sup>	2.30 <sup>a</sup>
Distancia entre hilera (m)	1.70 <sup>c</sup>	1.90 <sup>b</sup>	2.50 <sup>a</sup>
Longitud de esqueje reproductivo(cm)	319.52 <sup>ab</sup>	257.91 <sup>b</sup>	476.76 <sup>a</sup>
Longitud de esqueje no reproductivo(cm)	718.60 <sup>a</sup>	227.10 <sup>b</sup>	613.70 <sup>a</sup>

Media armónica = 7.44. Letras diferentes en cada línea indican diferencias significativas entre sitios, Tukey  $p \leq 0.05$ . v= vaina

De manera general, la localidad 1° de Mayo presentó 15 variables con letra a, Papantla presentó ocho variables con la letras a, lo que coloca a estos dos sitios como los mejores en cuanto a las

variables evaluadas que pudieran determinar el rendimiento de *Vanilla planifolia*; sin embargo, ambos poseen *Fusarium* sp. Mientras que Pantepec presentó 4 variables con la letra a, lo que la ubica como una localidad inferior en cuanto al número de variables evaluadas que determinan rendimiento en la orquídea.

Para las variables de peso de vaina verde por sitio (g), el peso se tomó cuatro veces. El peso fresco fue evaluado al momento de la cosecha, el peso inicial antes de meter las vainas a estufa y el peso a las 24 y 48 horas en estufa a 80 grados centígrados. Tres variables evaluadas mostraron ser altamente significativas en los tres sitios: Peso fresco, Peso inicial y Peso 48 horas (Cuadro 10), mientras que Peso 24 horas fue solo significativo estadísticamente. El peso de las vainas al igual que las dimensiones, pudo haber sido por la asimilación de nutrientes que en cuestión de macronutrientes son diferentes en relación a lo estimado para orquídeas. Sadanandan y Hamza (2006) mencionan la importancia de regular la irrigación y el contenido nutrimental en la vainilla y sugieren fertilizaciones orgánicas y no orgánicas para el suelo con vermicomposta en una relación de contenidos de 50 % de nitrógeno + 50 % Fósforo + 50 % Potasio y de este modo se incrementan los rendimientos y la calidad de la vaina.

**Cuadro 10.** Medias y coeficientes de variación de las cuatro variables consideradas de peso de fruto (g) en los tres sitios de estudio del Totonacapan Puebla-Veracruz.

Variable	Media	Cuadrados Medios	
		Coefficiente de variación %	Sitio
<b>Peso fresco vainas por planta(g)</b>	127.28 **	25.26	48459.69
<b>Peso inicial (g)</b>	92.45 **	32.7	18792.89
<b>Peso 24 horas (g)</b>	16.26 *	46.39	564.14
<b>Peso 48 horas (g)</b>	13.76 **	36.44	566.61

Media armónica = 60.21.

Otra posible razón por la cual los pesos se ven afectados es por el manejo del cultivo, en algunos lugares la vainilla es cosechada y almacenada por varios días y no se le da el tratamiento de

beneficiado enseguida, lo que ocasiona fluctuaciones en el peso. En otros casos, se cosecha antes de tiempo con el fin de lograr comercializar el fruto pero esto perjudica el fruto pues algunas veces no ha alcanzado su tamaño óptimo y una vez que se beneficia pierde calidad en tamaño y contenido de vainillina.

Para la prueba de medias por sitio (Cuadro 11) fueron Papantla y 1° de Mayo quienes mostraron el más alto rendimiento (g) por planta, formando un grupo con la letra a y Pantepec formó un segundo grupo con letra b.

**Cuadro 11.** Valores de medias por planta de las cuatro variables de peso de fruto (g) en los tres sitios del Totonacapan Puebla-Veracruz.

Variables	1° de Mayo	Papantla	Pantepec
	(g)		
<b>Peso fresco</b>	182.98 a	176.53 a	46.38 b
<b>Peso inicial</b>	102.22 a	138.36 a	45.13 b
<b>Peso 24 horas</b>	21.06 a	22.46 a	7.56 b
<b>Peso 48 horas</b>	15.35 a	21.78 a	5.57 b

Letras diferentes en cada línea indican diferencias significativas entre sitios, Tukey  $p \leq 0.05$ .

1° de Mayo es una localidad que posee la característica de tener la producción de Vainilla en sistema Acahual y presentó mayores valores de rendimiento en fresco al ser sus frutos más grandes, sin embargo Papantla también tuvo rendimientos cercanos a la localidad primero de mayo y los más altos en peso seco y estadísticamente significativos.

1° de Mayo podría tener mayor rendimiento si *Fusarium* no estuviera presente y si sus contenidos nutrimentales en el suelo se elevaran, lo mismo sería para Papantla ya que cuenta con severidad de *Fusarium* mayor que en Pantepec, y en Pantepec se pudiera atribuir su menor rendimiento a que se descuida en la época de verano, y su riego y saneamiento de partes dañadas por alguna enfermedad no son debidamente cuidadas.

Barrera *et al.* (2011) mencionan que la producción en fresco en el sistema acahual puede llegar a ser de 1 tonelada ha<sup>-1</sup> mientras que en sistema malla sombra se esperan rendimientos de hasta 2 toneladas ha<sup>-1</sup>. Sánchez *et al.* (2010) encontraron diferencias significativas en los pesos del fruto de vainilla entre sistemas, en el sistema tradicional acahual se presentaron valores más altos en el rendimiento del fruto a diferencia del sistema de riego.

#### 4.1.1 Componentes principales

Con el propósito de reducir la dimensión del conjunto de datos, así como encontrar grupos en los datos de acuerdo a la combinación lineal de las variables originales que sean independientes entre sí, fue que se realizó el análisis de componentes principales (ACP).

El ACP explicó 62.86 % de la varianza total con los primeros tres componentes (Cuadro 12). El componente principal 1 explica 37.62 % de la variación, y lo componen las variables Diámetro de vaina basal (0.24), Diámetro de vaina apical (0.28), Ancho de vaina basal (0.28), Ancho de vaina apical (0.27) y Dhilera (-0.27). El segundo componente explicó 17.01 % de la varianza y lo constituyen las variables Longitud no reproductiva (0.41), Número de racimos (0.36), Flores totales (0.35) y Flores polinizadas (0.32). El tercer componente principal explicó sólo 8.22 % de la varianza y las variables con el mayor vector propio son Número de hojas (0.30), Diámetro ecuatorial de tallo (0.30), Diámetro basal de tallo (0.29), Número de frutos (0.29), Peso fresco (0.28), e Incidencia de *Fusarium* (-0.23) (Cuadro 12).

Menon *et al.* (2002) en un estudio de modelación de rendimiento en Vainilla en la India, encontraron que las variables distancia entre plantas, parte productiva de la planta, longitud de vaina y número de vainas por vainillal tuvieron alta relación con el rendimiento. Sánchez *et al.* (2001) encontraron como factores importantes del rendimiento en Vainilla en Veracruz al riego, estado fitosanitario de la planta y la densidad de plantación.

Dado la poca y casi nula información en vainilla, en otras especies agrícolas se ha encontrado resultados similares. Por ejemplo, para naranja se señala que el diámetro de tallo es importante debido a la conductancia estomática y al déficit de irrigación (Romero *et al.* 2006). Para la

variable distancia entre hileras los trabajos de Dass *et al.* (1978) lo confirman en Piña. Así mismo Zhao *et al.* (2015) en un modelo sobre la fenología de diversos cultivos encuentra a la distancia entre hileras como un factor importante para el desarrollo potencial de un cultivo.

**Cuadro 12.** Valores Propios, Vectores propios y Proporción acumulada de las variaciones explicadas por cada variable en las primeras tres dimensiones de las 28 variables agronómicas de *V. planifolia* en el Totonacapan.

<b>Variables</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
Lvaina	0.255807	-0.130318	-0.03213
Dbasalv	<b>0.294219</b>	-0.036100	0.033506
Decuatorialv	0.256980	-0.037492	0.254613
Dapicalv	<b>0.283838</b>	0.004529	0.112176
Abasalv	<b>0.281808</b>	-0.065672	0.066742
Aecuatorialv	0.263298	-0.024082	0.189043
Aapicalv	<b>0.275274</b>	0.014331	0.000404
Pfrescov	0.200647	-0.113032	<b>0.281795</b>
Aplanta	0.107037	0.244728	0.227711
Nfruto	0.221802	-0.02475	<b>-0.295912</b>
Naborto	0.135438	-0.254503	0.099444
Bvege	0.222798	0.024748	-0.11248
Brepro	0.244435	-0.062499	-0.023493
Dplanta	-0.138201	0.263949	0.233456
Dhilera	<b>-0.270838</b>	0.058259	0.168516
Dbasalt	0.021001	-0.081964	<b>0.297164</b>
Decuatorialt	0.139810	0.033208	<b>0.305125</b>
Dapicalt	-0.065809	-0.029499	<b>0.282124</b>
Nvainain	0.157487	<b>0.328316</b>	-0.064841
Nracimo	0.131600	<b>0.361002</b>	-0.069835
Ftotal	0.117038	<b>0.352391</b>	-0.181929
Fpoli	0.156938	<b>0.321458</b>	-0.180281
Dnudos	0.092422	0.042393	0.065905
Lonrep	-0.147822	0.237543	0.148853
Lonnrep	-0.022221	<b>0.410116</b>	0.095936
Nhojas	0.000481	0.197847	<b>0.306212</b>
Incide	0.020413	-0.065052	<b>-0.234915</b>
Severi	0.140400	0.124266	-0.187320
Autovalor	10.534982	4.7616801	2.3028885
Proporción	0.3762	0.1701	0.0822
Acumulada	0.3762	0.5463	0.6286

VARIABLES EN NEGRITAS INDICAN LAS VARIABLES DE MAYOR INFLUENCIA EN CADA COMPONENTE PRINCIPAL. V=vaina; t= tallo.

La vainilla posee características fisiológicas tales como su índice estomático entre 5 y 3 estomas por campo de observación a 40x, sus niveles se encontraron también por debajo de los normales en orquídeas, que podría sugerir en que tiene un nivel de conductancia estomática bajo, que se podría reflejar en diámetros de tallos más delgados, con una traslocación de nutrientes más lenta y un desarrollo vegetativo y reproductivo lento, típico de un metabolismo MAC.

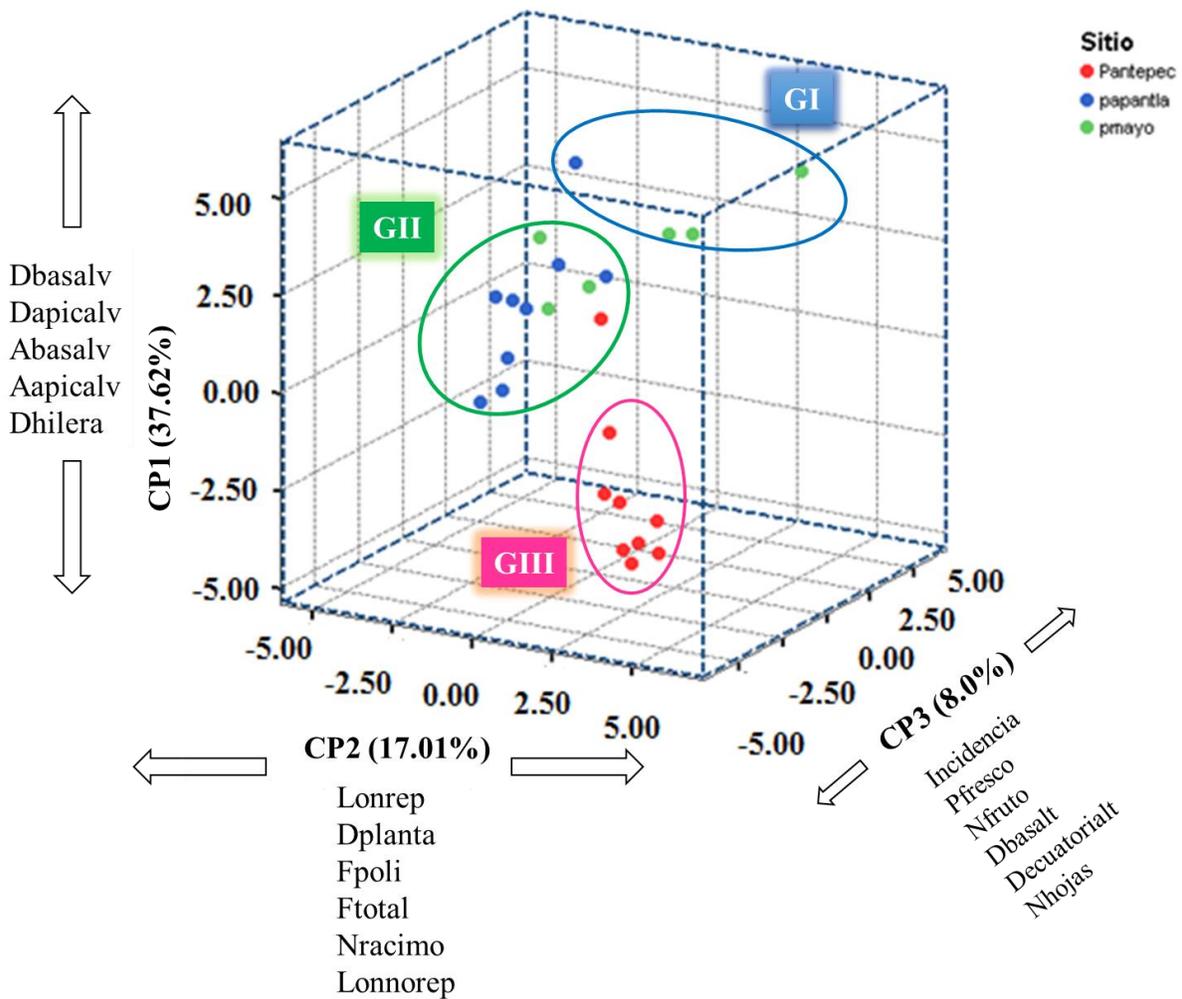
De acuerdo a la distribución espacial de los primeros tres componentes principales (Figura 1) se distinguen 3 grupos de plantas en función de su rendimiento, el conjunto de mayor rendimiento (ovalo azul) se encuentra compuesto por tres plantas de Primero de Mayo y una de Papantla, las variables que tienen mayor peso para esta ubicación son: Diámetro basal v, Diámetro apical v, Ancho basal v, Ancho apical v, Distancia entre hileras, Longitud de esqueje no reproductivo, Número de racimos, Flores totales, Flores polinizadas, Número de hojas, Diámetro ecuatorial t, Diámetro basal t, Número de frutos, Peso fresco v, e Incidencia de Fusarium. También se puede observar que los lugares donde las plantas presentan mayor rendimiento fueron Primero de Mayo y Papantla, de acuerdo a las características evaluadas.

El segundo conjunto (ovalo verde) se encuentra formado por ocho plantas de Papantla, tres de primero de mayo y una de Pantepec, con esto se puede observar que se tiene un grupo intermedio de rendimiento que lo conforman plantas de Papantla, Primero de Mayo y Pantepec. El tercer conjunto (ovalo rosa) está formado por ocho plantas únicamente de Pantepec, con esto se puede inducir que el sitio Pantepec, de Puebla es el de menor rendimiento de acuerdo a las variables evaluadas. De lo anterior, es posible deducir que el estudio y manejo del rendimiento en *Vanilla planifolia* es complejo y de acuerdo a las variables identificadas integral, por considerar caracteres agronómicos, fisiológicos, de manejo y de ambiente. López *et al.* (2012) en una investigación morfológica de Aguacate, obtuvieron dentro del primer componente principal a la variable Diámetro de fruto, lo mismo se reporta para Guayaba por Jiménez (2009). Por lo que, los resultados del ACP que se obtuvieron para vainilla sobre  $D_{\text{basal v}}$  (0.294), y  $D_{\text{apical v}}$  (0.283), coinciden con los anteriores autores. Escalante (1989), en una investigación de tomate, señala que a mayor tamaño de fruto se tiene menor número de frutos. Por ejemplo en la localidad

Primero de Mayo del estudio realizado en las plantas, hubo una planta que mostró un solo fruto pero de gran tamaño (24 cm).

Reddy (2008) en una investigación de Chile señala que una heterosis positiva se refleja en el tamaño y menor número de frutos. En la localidad Primero de Mayo del estudio realizado, hubo una planta que mostró un solo fruto pero de gran tamaño (24.0 cm), los cuales en el mercado tienen un precio muy superior.

Una de las ventajas agronómicas que posee la Vainilla es la reproducción clonal, pues puede traducirse en desarrollo de plantas seleccionadas por su comportamiento en rendimiento, sanidad, etc. en una misma superficie y posteriormente poder ser colocadas en un espacio donde se considere apropiado. Las plantas clonales se pueden cultivar de igual manera tanto sexual como vegetativamente, y el balance entre los esfuerzos de la propagación sexual y vegetativa puede ser determinado por competencia inter e intra específica. Siendo visto por ambos lados, la propagación vegetativa, es en menor cantidad, pero inicia con individuos más grandes con una mortalidad más baja que la producida, mientras que en la propagación sexual por semillas inicia con individuos pequeños con una mortalidad muy alta que la producida. La producción vegetativa por ramas o esquejes tiene más ventajas pues las partes madres proveen a la rama o esqueje-hijo carbohidratos, agua y minerales (Slade y Hutchings 1987; Marshall 1996; Stuefer *et al.* 1996). Y los individuos originados por semilla son más pequeños y al nacer no tienen quien les provea los requerimientos nutricionales de otras semillas madre. Quizás por lo anterior, Boström *et al.* (2012) encontraron que la distancia entre hileras es un factor importante que aumenta los rendimientos del cultivo de manera positiva. Fahad *et al.* (2015) señalan que las especies azotalenguas (*Galium aparine*) y lepidio (*Lepidium sativum*) tienen significancia a la variable distancia entre hileras para mostrar un crecimiento de planta alto.



**Figura 7.** Dispersión de las plantas en los tres sitios de estudio del Totonacapan de acuerdo a las 17 variables Agronómicas que resultaron del análisis. CP1 (Dbasalv) diámetro basal de vaina, (Dapicalv) diámetro apical de vaina, (Abasalv) ancho basal de vaina, (Dhilera) distancia entre hileras. CP2 (Lonrep) longitud de esqueje reproductivo, (Dplanta) distancia entre plantas, (Fpoli) flores polinizadas, (Ftotal) flores totales por planta, (Nracimo) número de racimos por planta y (Lonnorep) longitud de esqueje no reproductivo. CP3 (Incidencia) %incidencia de *Fusarium* spp., (Pfresco) Peso fresco de vaina, (Nfruto) número de frutos totales por planta, (Dbasalt) Diámetro basal de tallo, (Decuatorialt) diámetro ecuatorial tallo y (Nhojas) número de hojas totales por planta.

Ikegami (2012) describe en su trabajo que los esquejes de *Scirpus olneyi* producen más botones florales al ser establecidos en altas densidades. Para vainilla, en las localidades Pantepec y Papantla se tuvieron altas densidades por unidad de superficie y sí se presentó una gran cantidad de flores; sin embargo, 1° de Mayo tuvo significancia estadística para esta variable pero también la tuvo para la severidad de *Fusarium* lo que pudo provocar, bajo condiciones ambientales de mayor precipitación, pérdidas fisiológicas a nivel de floración, amarre de frutos y de longitud de esqueje reproductivo de la planta.

Los recursos fitogenéticos reproducidos por esquejes deben tener menor producción en tratamientos con altas densidades y la disponibilidad de recursos como nutrientes y agua limita la producción de semillas; sin embargo, resultados de otros estudios sugieren que las plantas en crecimiento bajo condiciones adversas, por ejemplo un número alto de plantas, incrementan su separación y su reproducción clonal (Raven *et al.* 1981; Callaghan 1988). Abrahamson (1980) señala que una vez que se uniformiza la distribución de los recursos agua y nutrientes la reproducción vegetativa es ventajosa en una densidad de plantación baja y facilita su dispersión y ocupación local, mientras que la propagación por semilla es ventajosa en densidades de plantación alta y permite probablemente la dispersión a nuevo lugares favorables. Sin embargo, algunos otros investigadores tienen resultados de rendimiento completamente opuestos. A una alta densidad, donde la competencia entre esquejes es alta, el crecimiento clonal tiene más oportunidades de establecerse que las semillas, de esta manera, en densidades altas de plantación la propagación clonal es altamente esperada (Williams *et al.* 1977).

El aborto de frutos en vainilla fue un problema grave en las tres localidades bajo estudio, en general constituye un gran problema en todo el Totonacapan, a pesar de no haber mostrado un valor alto en el análisis de componentes principales, pues se tienen pérdidas de hasta 30 % de frutos que se polinizaron en floración. En el caso de las plantas autógamas como el tomate Adams *et al.* (1973) mencionan que las deficiencias minerales, particularmente en nitrógeno, fosforo y potasio, retrasan el desarrollo de las flores pudiendo provocar incluso el aborto de las mismas. Este efecto puede ser especialmente importante en plantas sometidas a estrés hídrico y temperaturas elevadas, lo que promueve la ejerción del estilo, reduce la autopolinización y

amarre del fruto. Si se traduce a vainilla, pudiera ser algo parecido a la relación de estrés hídrico y temperaturas elevadas con el aborto del fruto.

En cuanto a la polinización de flores se tiene que en Vainilla en los tres sitios se poliniza manualmente un alto porcentaje de las flores totales, lo cual pudiera repercutir en el desarrollo adecuado de los frutos y sobre todo en el amarre del fruto. Diddle (1995) polinizó a *Phalenopsis* sp., sólo una flor manualmente por racimo y no más de tres flores por planta, pues menciona eso le permite un desarrollo completo de la cápsula con los recursos adecuados que tiene la planta.

El número de hojas repercute directamente con la actividad fotosintética de la planta y por lo tanto, en el desarrollo de la misma. Bhat y Sujata (2010) encontraron con significancia estadística el número de hojas de vainilla para su producción. Sánchez (2010) aunque sin significancia estadística encontró que la variable número de hojas en el sistema tecnificado de riego en vainilla tuvo el mayor número de hojas, y concluye que este sistema tuvo el mayor rendimiento en kg por planta. El área foliar es un atributo relacionado con la productividad agronómica, que al contar con mayor superficie foliar y de alta eficiencia para realizar fotosíntesis se esperaría que produjera mayor cantidad de fotoasimilados y alto rendimiento de fruto (Roper 1991).

En cuanto a diámetro de tallo, Moorby (1981) menciona que una mayor área de parénquima implica mayor reserva de asimilados que pueden ser utilizados en el fruto en crecimiento, así como una mayor área de xilema y floema posibilita un mayor transporte de agua y nutrientes hacia los órganos reproductivos. Sin embargo, el área total de tallo y sus diferentes tejidos pueden ser afectados por factores ambientales y de manejo, las temperaturas elevadas (30 °C) propician el crecimiento de tallos delgados (Folquer, 1976) y con mayor proporción de tejido parenquimatoso (Chamarro; 1995 y Picken, *et al.* 1986). Asimismo, luminosidad baja da lugar a tallos delgados y débiles con mayor proporción de tejido parenquimatoso. Además, una mayor área de parénquima puede favorecer mayor reserva de asimilados, lo que en condiciones restrictivas, por algún tipo de estrés como la alta densidad o área foliar excesiva (sombreado), puede conducir a que estas reservas sean parcialmente removidas a los frutos en crecimiento (Moorby 1981).

#### 4.1.2 Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados se realizó con la finalidad de generar agrupación de datos que minimicen la varianza entre ellos y se maximicen entre grupos. En el análisis de conglomerados se formaron tres grandes grupos de las colectas de los diferentes sitios en estudio, en función de las variables evaluadas. El grupo I (GI) descrito en el dendograma de la figura 8, se integró por plantas de Papantla y 1° de mayo, el GII se conformó de plantas de Papantla, 1° de mayo y Pantepec, y el GIII formado por plantas de Pantepec.

En función de los análisis de componentes principales y conglomerados realizados, se puede mencionar que se forman tres grupos de plantas con base en su rendimiento. El primero agrupa a tres plantas de 1° de Mayo y una planta de Papantla, es el grupo de mayor rendimiento donde en promedio se obtuvo 182.98 gramos promedio fresco por planta, el segundo grupo con un rendimiento intermedio de 176.53 gramos promedio fresco por planta, que agrupa ocho plantas de Papantla, tres de 1° de Mayo y una de Pantepec, y el tercer grupo está formado por ocho plantas de Pantepec con un rendimiento promedio por planta de 46.38 gramos promedio fresco por planta.

Hay que mencionar que la formación de los tres grupos de plantas de vainilla de diferentes localidades de acuerdo al análisis de componentes principales y análisis de conglomerados estuvo definida, principalmente por 17 variables, tales son; flores totales por planta (Ftotal), flores polinizadas (Fpoli), número de racimos por planta (Nracimo), diámetro y anchura de vaina basal y apical (Dbasal v) (Dapical v) (Abasal v) (Aapical v), número de frutos totales por planta (Nfruto), Peso fresco (P fresco), diámetro de tallo basal y medial (Dtallo) (Dtallo), número de hojas totales por planta (Nhojas), longitud de esqueje reproductivo y no reproductivo de la planta (Lonrep), (Lonnorep), % incidencia de *Fusarium* spp. (Incidencia), distancia entre plantas (Dplanta), y distancia entre hileras (Dhilera).

En vainilla se obtuvo que la variable Diámetro de tallo medial y basal fueron significativos lo cual desencadena en una adecuada área para el transporte de agua, minerales y fotoasimilados, para el desarrollo de la planta. Sánchez (1997) reportó que áreas altas de floema propician

mayores tasas de traslocación de asimilados hacia los frutos por presentar menor resistencia al flujo, facilitando así el crecimiento. Respecto al xilema Picken *et al.* (1986) señalan que las condiciones de crecimiento influyen sobre su comportamiento, así en tallos delgados el desarrollo es mayor esperándose que racimos compuestos posean un mayor número de flores y consecuentemente, un mayor número de frutos; sin embargo, esto está en función del amarre de los frutos.

La vainilla es un cultivo que demanda agua, sin embargo, en verano el estrés hídrico aumenta y trae consecuencias fisiológicas precisamente después de la floración y durante la fructificación Chandran y Puthur (2009). Por lo que se considera que el estrés hídrico se desarrolla en los cultivos cuando las pérdidas por evaporación exceden el suministro de agua del suelo (Slatyer 1967). La respuesta de las plantas a periodos cortos de sequía, días a semanas, pueden involucrar que la sensibilidad de tomar el agua potencial del suelo se vea afectada, así como su capacidad de almacenar el agua en raíces o tallos (Bray 1997; Taiz y Zeiger 1998; Nobel 1999; Fitter y Hay 2002). Como resultado hay una reducción en el estatus del agua de la planta y muchos procesos fisiológicos son afectados, como la expansión de las hojas entre otras funciones (Hsiao 1973). En cuanto a la importancia del diámetro del tallo, diversas investigaciones se han realizado para evaluar las variaciones en los diámetros de tallos, así se tiene que en almendra (*Prunus dulcis*) (Egea *et al.* 2009; Goldhamer y Fereres 2004); manzana (*Malus domestica* L.) (De Swaef *et al.* 2009; Liu *et al.* 2011); cereza (*Prunus avium* L.; Livellara *et al.* 2011); especies de cítricos (*Citrus clementina*) (Velez *et al.* 2007), (*Citrus sinensis* L.) (García-Tejero *et al.* 2011), (*Citrus limon* L.) (Ortuno *et al.* 2009a, b); vid (*Vitis vinifera* L.) (Intrigliolo y Castel 2007a); olivo (*Olea europaea* L.) (Cuevas *et al.* 2010; Fernández *et al.* 2011a, b; Moriana *et al.* 2010, 2011); durazno (*Prunus pérsica* L.) (Goldhamer *et al.* 1999; Conejero *et al.* 2007, 2010, 2011a, b); caqui (*Diospyros kaki* L.) (Badal *et al.* 2010); ciruelo chino (*Prunus salicina* L.) (Intrigliolo *et al.* 2011); tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (De Swaef y Steppe 2010), (*Solanum esculentum* L.) (Gallardo *et al.* 2006a); chile y melón (*Capsicum annuum* L. y *Cucumis melo* L., respectivamente) (Gallardo *et al.* 2006b; Fernández y Cuevas 2010) todos han concluido que los diámetros de tallo están ligados a los niveles de irrigación de la planta.



En relación al número de frutos por planta, Ponce (1995) indica que el número de frutos por planta se asocia a la estructura morfológica de éstas; así, el número depende en gran medida del tipo de inflorescencias que posean los cultivares, ya sean simples o compuestas (Rodríguez *et al.* 2001). Según Wereing y Patrick (1975) el número de frutos involucra procesos fisiológicos como la relación fuente demanda. Sin embargo, Cancino (1990) encontró que el tamaño de fruto (estrechamente relacionado con el peso del fruto) depende de tres a cinco pares de genes, aspecto que concuerda con lo señalado por Ashcroft *et al.* (1993) en que el tamaño del fruto está controlado por factores genéticos, además de factores fisiológicos, tales como maduración, despunte y defoliación. Asimismo, Ponce (1995) menciona que la competencia se establece entre los frutos de un mismo racimo, y tiende a disminuir el tamaño del fruto por inflorescencia, siendo pequeños los del extremo y más en los últimos racimos de la planta. El número de frutos y el tamaño a la cosecha representa consigo mismo, parámetros ecológicos, parámetros agronómicos y parámetros de precios, basándose en la predicción del futuro rendimiento, planeación de insumos y cálculos de beneficio (Welte 1990).

Algunos organismos fúngicos contribuyen y son clave para abrir algunos de los sistemas sustentables de las plantas incluyendo el ciclo de nutrientes y transporte de agua en las plantas. La localización geográfica, el clima, las prácticas culturales, las relaciones entre microorganismo y condiciones ambientales son factores importantes que influyen en la diversidad de hongos y en su distribución (Hamel *et al.* 2005; Vujanovic *et al.* 2006; Bellgard y Williams 2011). A pesar de que los hongos se encuentran ampliamente en suelos y plantas agrícolas, éstos tienen restricciones en órganos particulares de las plantas (Arnold 2005).

Los días a cosecha de la vainilla dependen principalmente de la maduración del fruto (Cuadro 13) en cuanto a su coloración. Esto permite a los agricultores tener una posible fecha de corte para su venta de la manera tradicional vainilla; es decir, de fruto verde, o bien, venta de vaina beneficiada. En cada sistema de producción la radiación total es diferente debido al tipo de plantación lo cual se refleja en la iluminación y la temperatura del microclima del cultivo.

**Cuadro 13.** Fechas de inicio a floración, Días a floración (se consideró a partir de haber cosechado hasta el día en que inicio la floración en cada vainilla), Días a cosecha (se consideró a

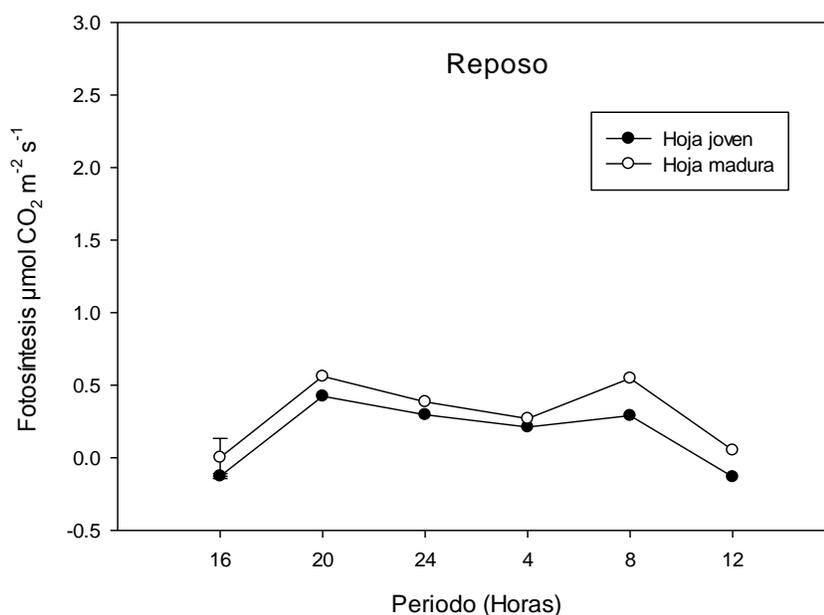
partir de haber sido polinizadas las flores), Días a primer corte (se contaron a partir del primer corte en el mes de diciembre) y Número de cortes en los tres sitios de estudio (se contabilizaron los cortes realizados por cada agricultor).

<b>Sitio</b>	<b>Inicio de floración abril 2014 (día)</b>	<b>Días a floración</b>	<b>Días a cosecha</b>	<b>Días a primer corte</b>	<b>Número de cortes</b>
<b>Pantepec</b>	5	119	258	255	3
<b>Papantla</b>	8	120	274	270	2
<b>1° de Mayo</b>	10	123	259	250	5

#### **4.2 Variables fisiológicas**

La medición de las variables fisiológicas se realizó con la finalidad de conocer el funcionamiento de la planta a nivel fotosintético durante el día, de esta manera se puede conocer los puntos críticos de la planta para establecer horarios cuando se deba tomar una decisión de índole agronómico como el riego, las fertilizaciones, el control de plagas y enfermedades, la polinización, entre otras. A manera de exploración solo se realizaron las evaluaciones en el sitio de Papantla (Huerto de 20 Soles).

Después de realizar en el mes de diciembre la cosecha de las vainas de vainilla, en los meses de enero y febrero (Figura 9) se podría decir que la planta se encuentra en reposo, hasta cierto punto ya que no se realizan labores culturales que demanden a la planta algún tipo de actividad forzada. En esta etapa de reposo (Figura 9) los valores más altos de asimilación de CO<sub>2</sub>, medidos en la planta de vainilla durante todo un día, se encontraron a las 20 horas en ambas hojas joven y madura (0.4241 y 0.5611  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) con una radiación fotosintéticamente activa de (-0.0988 y -0.0631) y los valores más bajos se registraron a las 12 h en hojas joven y madura (-0.1309 y 0.0529  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) con una radiación fotosintética activa de (166.1745 y -0.0372  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ) seguidos de las 4 horas (-0.1134 y -0.0901  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ).



**Figura 9.** Actividad fotosintética a través del día en plantas de vainilla crecidas en maya sombra, durante la etapa de reposo vegetativo en el mes de enero de 2014 en el Huerto 20 Soles, Papantla, Veracruz.

La vainilla exhibió el metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC), que es un mecanismo fotosintético para resistir la disponibilidad limitada de agua o CO<sub>2</sub> (Cushman y Bohnert 1999). En un estudio en *S. queretaroensis* se obtuvieron valores de fotosíntesis de 12 mol m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> teniendo sus valores más altos por la noche (Nobel 1995).

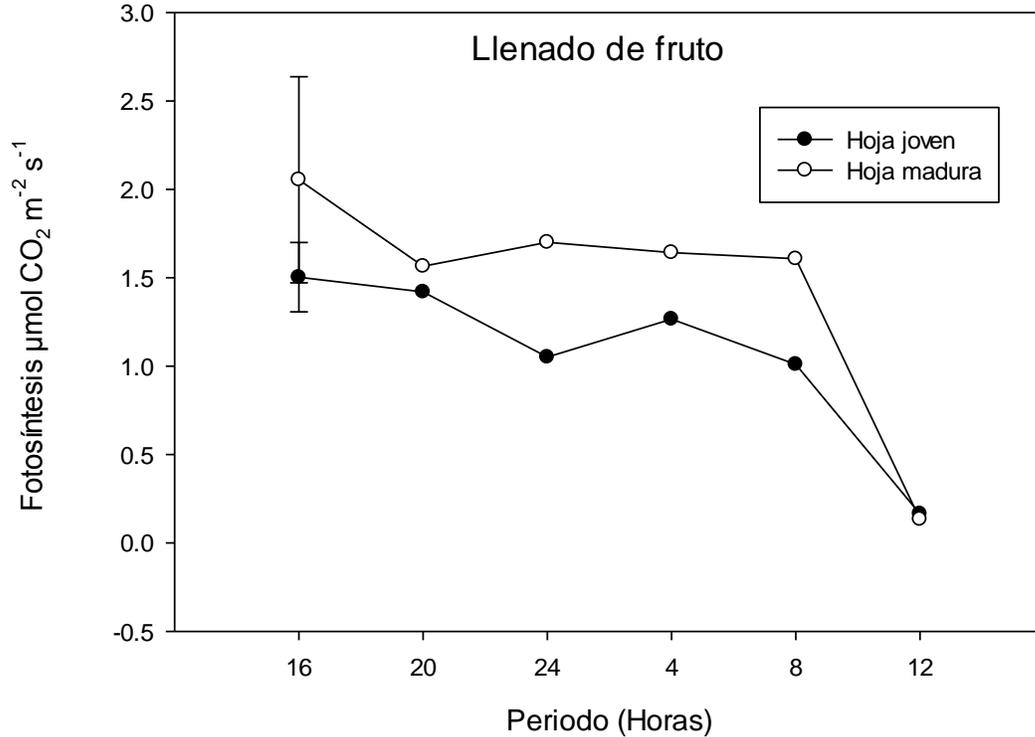
La productividad de las plantas depende netamente de la asimilación rápida de CO<sub>2</sub> por las nuevas hojas lo cual es influenciado por el estatus del agua, la temperatura y la radiación fotosintéticamente activa. Sin embargo, los rangos instantáneos son generalmente no tan importantes para producir la productividad como lo son las respuestas a lo largo de un período de 24 horas, especialmente para las plantas MAC (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas) cuya asimilación de CO<sub>2</sub> ocurre principalmente en la noche cuando la radiación fotosintéticamente activa (PAR) es igual a cero (De Córdazar 1990).

Para las plantas MAC, cuya respuesta PAR ha sido estudiada a detalle en las siguientes especies *Agave deserti*, *A. fourcroydes*, *Ferocactus acanthodes*, *Opuntia ficus-indica* y *Hylocereus*

*undatus* su asimilación neta de CO<sub>2</sub> durante las 24 horas ha dependido totalmente de la radiación fotosintéticamente activa (Nobel 1977, 1984, 1985; Nobel y Hartsock 1983; Ortiz *et al.* 1999).

La vainilla en este estudio, presentó los valores más bajos de fotosíntesis en la etapa de llenado de fruto (Figura 10) en ambas hojas joven y madura a las 12 horas del día (0.1644 y 0.1337  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), y los más altos a las 16 horas (1.6418 y 2.4662  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), 24 horas (1.0516 y 1.7005  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y 20 horas (1.4201 y 1.5651  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Olivares-Soto (2010) encontró valores en vainilla de Fotosíntesis de hasta 4.7  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Es importante señalar que no tiene el comportamiento típico de las MAC puesto que durante el día también hay asimilación de CO<sub>2</sub>. Para la radiación fotosintéticamente activa de Vainilla, de igual manera fueron los horarios de las 16 horas, las 20 y 24 horas los que presentaron valores más bajos. En el cultivo de *Hylocereus undatus*, se obtuvieron los valores más altos de fotosíntesis de 10  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  por la noche (Nobel 2002).

Las plantas (MAC) poseen un metabolismo más eficiente en cuanto a producir materia seca por unidad de agua consumida, que las plantas C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>. Existen evidencias de que la fotosíntesis C<sub>3</sub> es el estado inicial de las Orchidaceas y de que el metabolismo C<sub>3</sub> ha evolucionado primero en MAC débiles y después en modos de MAC fuertes (Pilón-Smits *et al.* 1996; Crayn *et al.* 2004) esto paralelamente a formas de crecimiento terrestres a formas de crecimiento epífita.



**Figura 10.** Actividad fotosintética a través del día en plantas de vainilla crecidas en maya sombra, durante la etapa de llenado de fruto en el mes de mayo de 2014 en el Huerto 20 Soles, Papantla, Veracruz.

#### 4.2.1 Índice estomático

El índice estomático en las hojas de vainilla se cuantificó con el fin de comprender mejor el funcionamiento fotosintético de la planta y conocer la cantidad y disposición de estomas presentes en la hoja de la orquídea, porque el número de estomas en las hojas está altamente ligado a la capacidad de asimilación de CO<sub>2</sub>. El índice estomático a 40 x en vainilla en promedio en la hoja en crecimiento fue de 3.96 y en la hoja madura de 5.07 estomas (Cuadro 14), y en promedio de estomas por campo encontrados en la parte abaxial fue de 3.4 estomas para la hoja joven y de 4.8 estomas para la hoja madura. Además se considera hipoestomática por haber presentado los estomas sólo en la parte abaxial (envés) como lo confirmaron (Reyes-López *et. al.* 2015)

Chandran y Puthur (2009) encontraron en vainilla índices estomáticos desde 1.65 hasta 3.27.

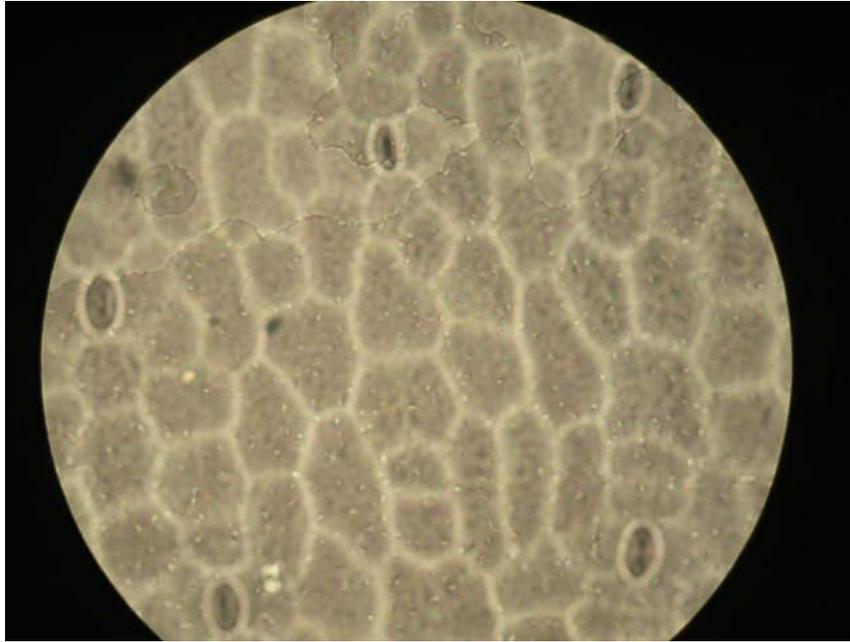
Reyes-López *et al.* 2005 encontraron índices estomáticos en hojas de vainilla por mm<sup>2</sup> de hasta 1,462 y en promedio de número de estomas por envés por mm<sup>2</sup> de 10.98.

**Cuadro 14.** Número de estomas e índice estomático en dos posiciones de hoja en plantas de vainilla crecidas bajo invernadero.

Repetición	H5-ee	H10-ee	H5-células	H10-células	IE-H5	IE-H10
1	3	8	85	97	3.40	7.61
2	3	4	73	88	3.94	4.34
3	3	3	89	57	3.26	5
4	3	4	68	74	4.22	5.12
5	2	3	86	92	2.27	3.15
6	5	5	91	83	5.20	5.68
7	2	4	96	95	2.04	4.04
8	6	7	89	102	6.31	6.42
9	4	5	65	98	5.79	4.85
10	3	5	91	105	3.19	4.54
Promedio	3.4	4.8	83.3	89.1	3.96	5.07
D. E.	1.26	1.61	10.69	14.53	1.43	1.25

H5-ee= Hoja en crecimiento estomas en envés; H10-ee= Hoja madura estomas en envés; H5-Células= células observadas en hoja en crecimiento a 40x; H10-células= células observadas en hoja madura 40x; IE-H5= índices estomáticos en hoja en crecimiento a 40x y IE-H10= índice estomáticos en hoja madura a 40x.

La disposición de los estomas en la hoja de vainilla se encuentra en forma de zigzag; es decir, dos estomas espaciados en una línea horizontal y debajo de ellas en medio de las dos se puede encontrar el tercer estoma (Figura 11).

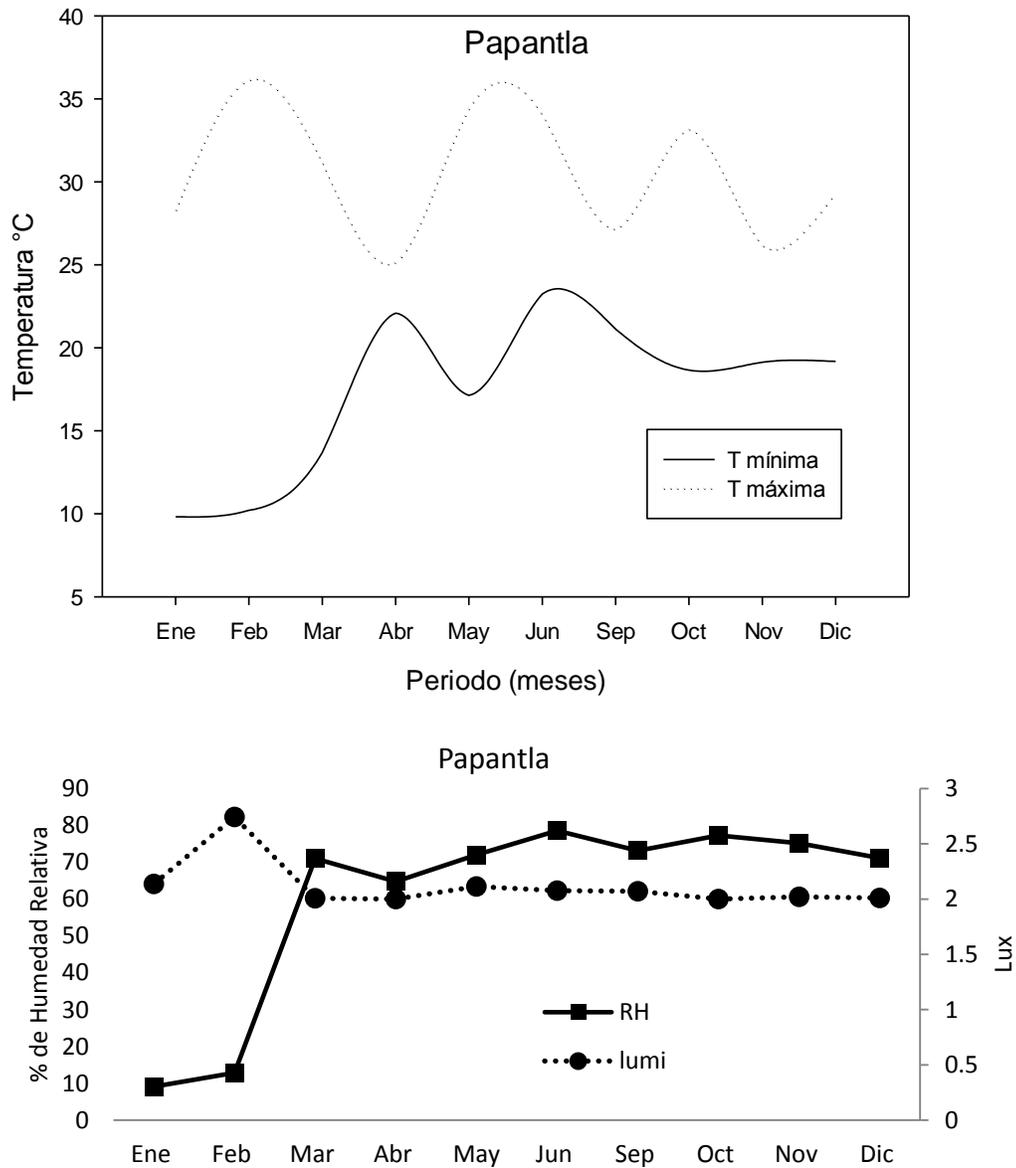


**Figura 11.** Morfología de estomas y células epidérmicas en la superficie abaxial de hoja de Vainilla a 40x.

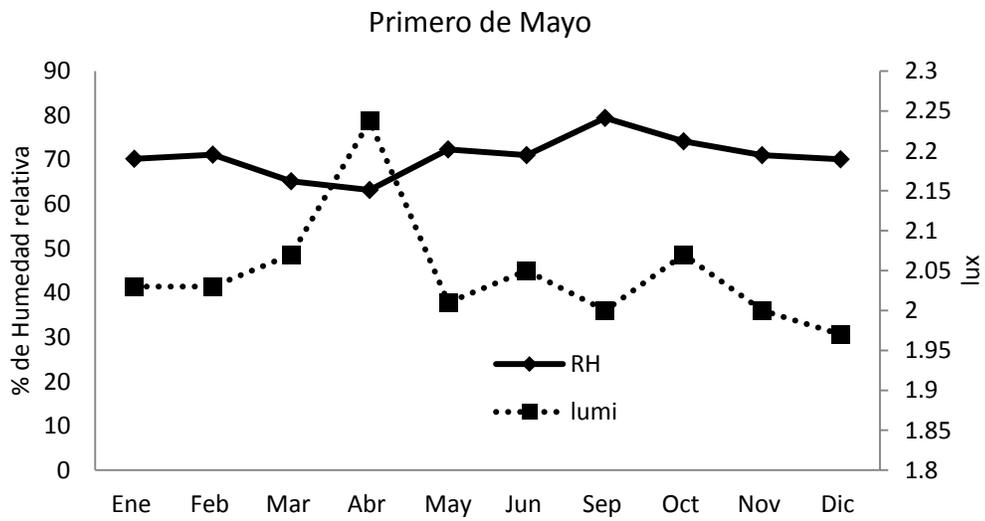
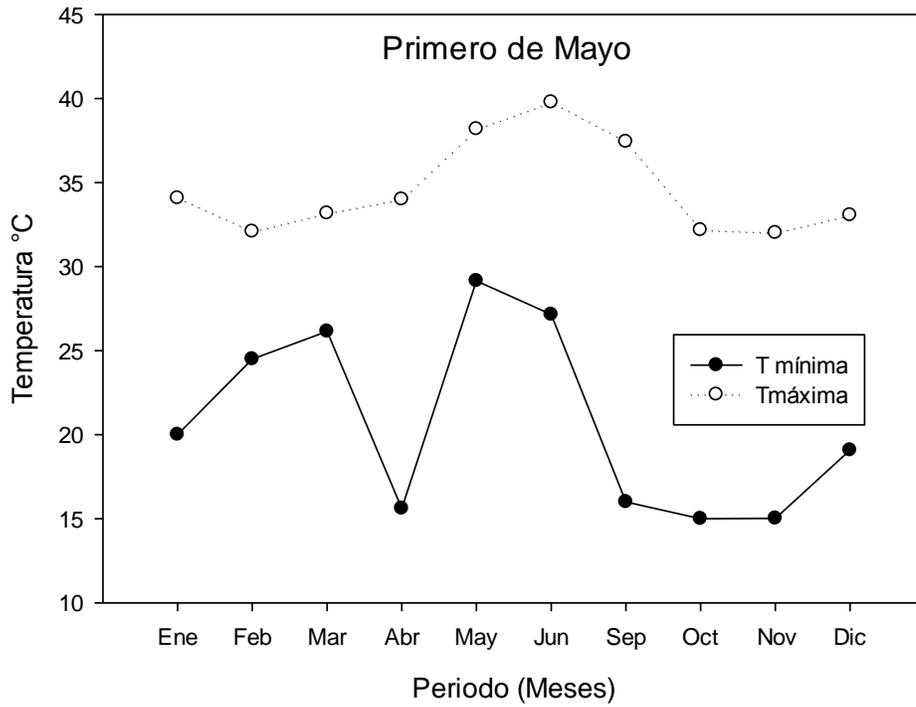
En tallos de Vainilla Nayar *et al.* (1976) encontraron un índice de 6 de estomas y en las hojas de 0 a 57 de estomas; sin embargo, mencionan que los estomas en las hojas maduras también se van degenerando de acuerdo a la edad de la hoja.

### 4.3 Variables climáticas

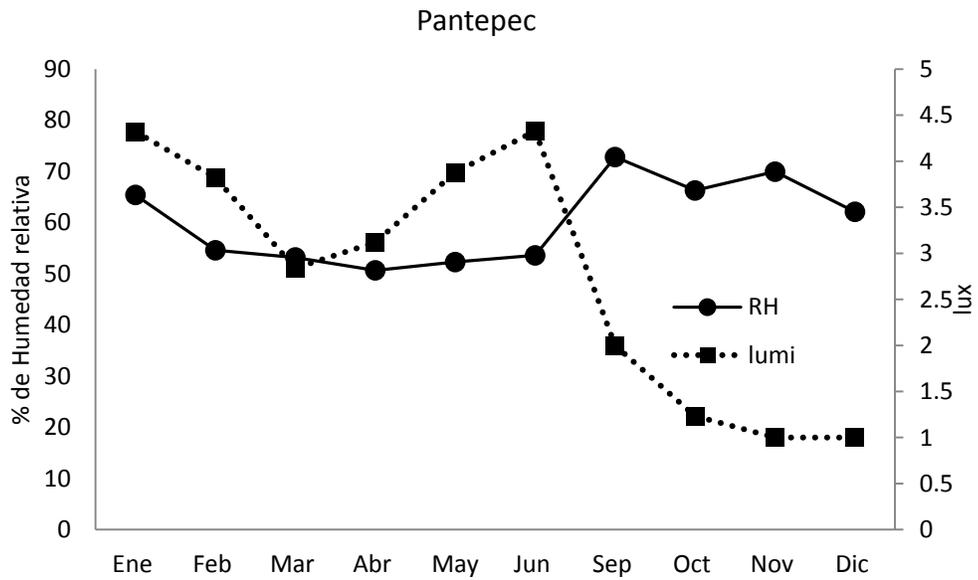
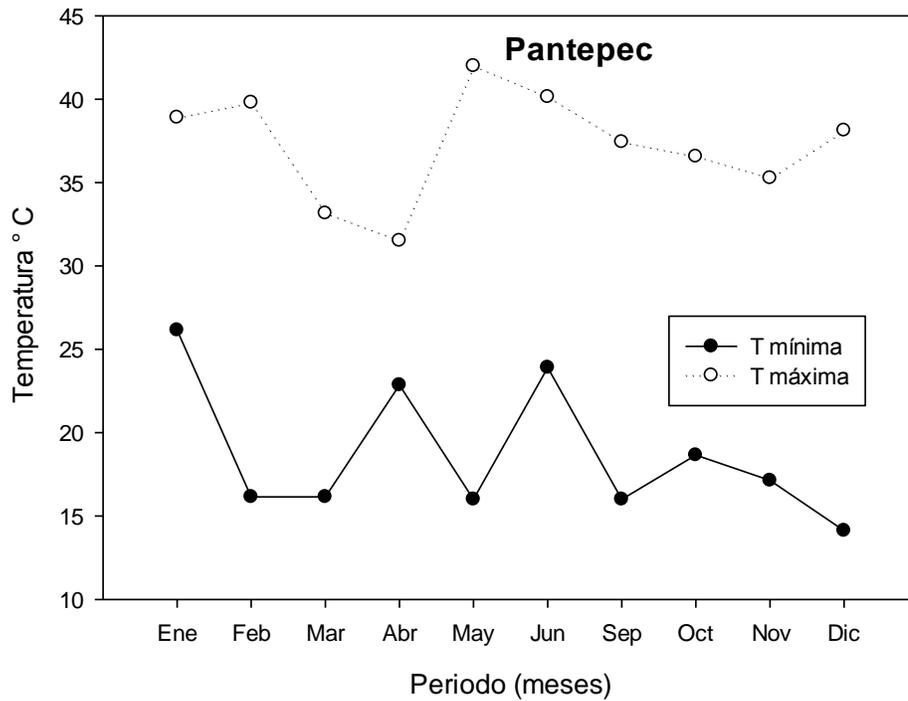
El estudio de las variables ambientales se realizó con el fin de conocer y comprender el ambiente en donde se desarrollaron las plantas de vainilla durante el ciclo 2013-2014. Y con lo anterior tratar de explicar si el ambiente fue limitante en la expresión de las variables que finalmente explicarían la producción de frutos de *V. planifolia*.



**Figura 12.** Temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales, humedad relativa e intensidad luminosa en Papantla, durante el ciclo 2013-2014.



**Figura 13.** Temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales, humedad relativa e intensidad luminosa en el Ejido 1° de Mayo durante el ciclo 2013-2014.



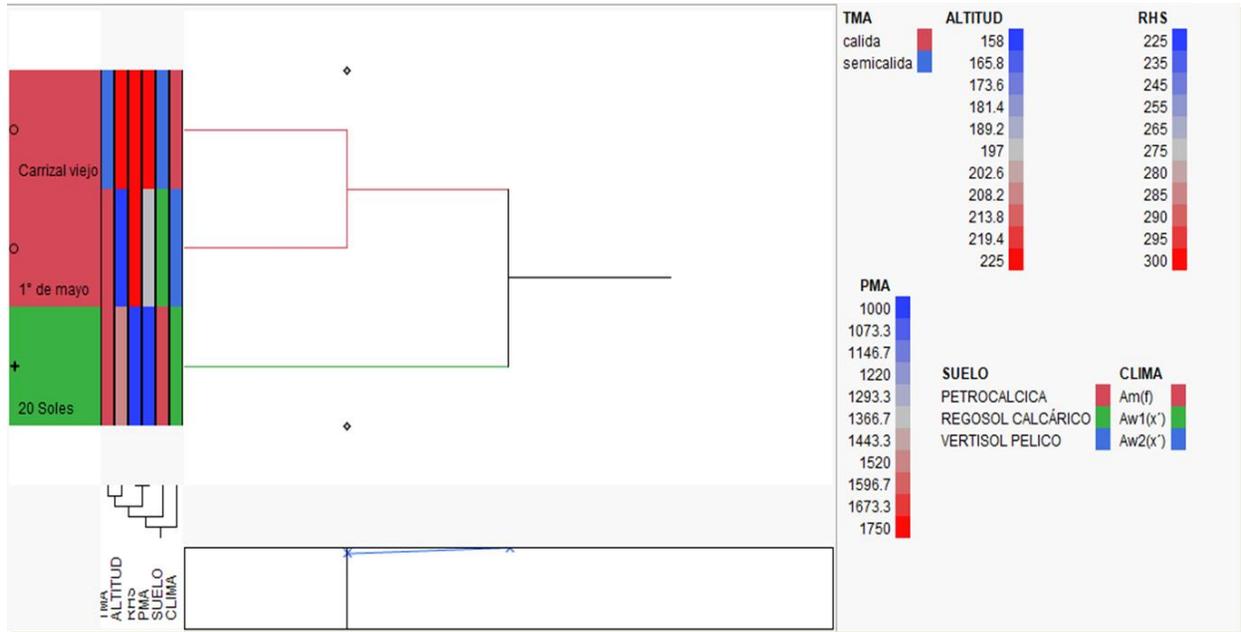
**Figura 14.** Temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales, humedad relativa e intensidad luminosa en Pantepec durante el ciclo 2013-2014.

De acuerdo a los promedios de las temperaturas de los tres sitios de estudio, Pantepec fue el que tuvo la temperatura más alta durante el ciclo 2013-2014 con un valor de 41.9 C° como

Temperatura máxima en mayo; la temperatura menor se registró en Papantla con un valor de 13.7 °C como Temperatura mínima en el mes de marzo. En Pantepec la temperatura es más alta durante todo el ciclo que se registró que en los otros sitios y Papantla tiene el ambiente más fresco. Para la variable Humedad relativa el promedio mensual más alto lo obtuvo la localidad 1° de Mayo con un valor de 79.44 % en el mes de septiembre y el más bajo lo obtuvo Papantla, con una humedad relativa en el mes de enero de 9.07 %. Para la intensidad luminosa fue en enero el registro más alto con un valor de 4.32 en la localidad Pantepec y también registró el valor más bajo en el mes de octubre con 1.33 % de luminosidad. Dado que no hay literatura acerca del efecto del ambiente sobre las variables de rendimiento en vainilla, no es posible analizar la relación planta-ambiente. Sin embargo, se sabe que temperaturas arriba de 39 °C durante la etapa de floración causan esterilidad en el polen de la vainilla y dado que la alta temperatura se presentó en la temporada de floración, en mayo, pudo haber afectado el rendimiento en las plantas de vainilla de Pantepec (Iglesias-Andreu 2015). En cuanto a la humedad relativa, la localidad 1° de Mayo presentó el mayor valor en el mes de septiembre por lo que fue uno de los sitios que también presentó mayor incidencia de *Fusarium* spp. Pero es de hacer notar que durante octubre, noviembre y diciembre las localidades 1° de Mayo y Papantla presentaron la mayor humedad y sin duda, la mayor de intensidad de *Fusarium* spp., lo que mermó en ambas localidades la cosecha en diciembre. La vainilla es una planta que requiere de un tutor para sostenerse y para cubrirse de la luz del sol, entre otras cosas, por lo que al presentar la localidad de Pantepec una alta intensidad luminosa a inicios de año, pudo tener un efecto negativo en la formación de flores, la retención de frutos y el rendimiento en general. En relación a lo anterior Tanaka y Yamaguchi (2014) mencionan como factor que determina el rendimiento en maíz a la interacción entre las condiciones de clima y de cultivo. Calvert (1957) señala que existe una interacción entre temperatura e iluminación, de tal manera que con temperaturas bajas se ve favorecida la formación de flores en plantas cultivadas con iluminación baja. Mientras que Kinet (1977) menciona que las temperaturas elevadas aceleran generalmente el desarrollo de las flores pero también pueden aumentar la incidencia del aborto de las yemas.

De la caracterización de ambientes agroecológicos se formaron dos grupos (Figura 15), el primer grupo incluyó a las localidades Pantepec (Carrizal Viejo) y 1° de Mayo por reunir las características de Temperatura Media Anual, Altitud, Precipitación media anual, Suelo, humedad

relativa y clima de manera similar, siendo el Huerto 20 Soles quien constituye el segundo grupo de acuerdo a las anteriores variables.



**Figura 15.** Dendrograma de la caracterización de ambientes agroecológicos en los tres sitios de estudio.

#### 4.4 Edáficas

Los resultados de las variables de suelo fueron obtenidos en el laboratorio de Química de suelos y ambiental de la especialidad de Edafología del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo (Cuadro 15).

**Cuadro 15.** Características de Textura de suelo en las 3 localidades

	<b>Arena</b>	<b>Arcilla</b>	<b>Limo</b>	<b>CT</b>
<b>Pantepec</b>	30	42	28	Arcilla
<b>1° de Mayo</b>	32	42	26	Arcilla

<b>Papantla</b>	52	20	28	Franco
-----------------	----	----	----	--------

(CT) cuerpo textural

**Cuadro 16.** Características físicas y químicas del suelo de las 3 localidades.

	<b>pH</b>	<b>CE</b> (meq/100g)	<b>CIC</b> (Siemens/cm (S/cm))	<b>M. O.</b> (%)
<b>Pantepec</b>	6.45±0.05	0.32	23.8	5.7
<b>1° de Mayo</b>	7.37	0.45	26.3	4.3
<b>Papantla</b>	7.56	0.28	15.0	4.5

(pH) potencial de hidrógeno, ,(CE) conductividad eléctrica, (CIC) capacidad de intercambio catiónico, (M. O.) materia orgánica.

**Cuadro 17.** Macro y micronutrientes en suelo de las 3 localidades.

	<b>P</b> (mg)	<b>K</b> (mg)	<b>Fe</b> (mg)	<b>Cu</b> (mg)	<b>Mn</b> (mg)	<b>Zn</b> (mg)
<b>Pantepec</b>	6.7	0.50	69.0	3.0	39.0	3.9
<b>1° de Mayo</b>	8.3	1.14	14.5	1.0	10.1	3.5
<b>Papantla</b>	28.4	0.16	16.1	2.5	10.3	2.9

(P) Fósforo, (K) potasio, (Fe) hierro, (Cu) cobre, (Mn) manganeso, (Zn) zinc.

En el Cuadro 15 se observa que Papantla tiene un cuerpo textural franco a diferencia de Pantepec y 1° de mayo que son arcillosos. Tanaka y Yamaguchi (2014) en maíz mencionan la importancia

del nitrógeno como uno de los dos factores que afectan el rendimiento del grano. Por su parte, Bhat y Sujata (2010) en una investigación sobre intercalar vainilla y Nuez de Areca encontraron que los niveles óptimos de contenido de nutrientes para aplicar son de Nitrógeno 0.5, de Fósforo 0.12 y de Potasio 0.45. Así mismo el contenido de Nitrógeno en la Vainilla juega, al igual que en otros cultivos, un papel muy importante en el desarrollo de la planta.

El contenido de materia orgánica en los tres sitios de estudio (Cuadro 17) se encuentra balanceado al igual que el pH (Cuadro 16). Se encontró que el fósforo en el suelo se encuentra en cantidades mínimas, en Orchidáceas se recomiendan valores de hasta 3 g / m<sup>3</sup>. Se observa que en P, Papantla presentó valores 4 veces mayores que Pantepec e incluso que en 1° de Mayo. El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de las plantas, de las formas de reproducción de las moléculas, de los ácidos nucleicos, ATP y otros compuestos biológicamente activos. En suelos ácidos el fósforo se combina con el aluminio y el hierro, donde se logra combinar muy bien con el magnesio y el calcio para formar fosfatos de magnesio solubles; por esta razón el fósforo debe encontrarse en altas cantidades en el suelo y de esta manera sea disponible para la planta (Holford 1997 y Raghothama 1999).

Sólo en Pantepec se observó una cantidad alta de Fe (cuadro 17), no así en Papantla y 1° de Mayo. Lee (1998) menciona que el contenido en pequeñas cantidades de Hierro y Potasio acarrea problemas productivos severos que recaen en un rendimiento menor en plantas MAC.

## V. CONCLUSIONES

Las variables de mayor importancia en el rendimiento de vainas en *Vanilla planifolia* en la región del Totonacapan, México, son flores totales por planta, flores polinizadas, número de racimos por planta, diámetro y anchura basal y apical de vaina, número de frutos totales por planta, peso fresco, diámetro de tallo basal y ecuatorial, número de hojas totales por planta, longitud de esqueje reproductivo y no reproductivo de la planta, incidencia de *Fusarium* spp., distancia entre plantas y distancia entre hileras.

En el cultivo de vainilla las condiciones ambientales temperatura, humedad, intensidad luminosa, y de manejo como nutrición, son factores relacionados altamente con el rendimiento, por lo que debe de tenerse especial atención en tener un vainillal debidamente abonado con materia orgánica, sombreado, ventilado y espaciado. Lo que se logra con una adecuada distancia entre plantas y distancia entre hileras, que se refleja en plantas sanas con una baja incidencia de *Fusarium* spp.

En el cultivo de vainilla se deben cuidar las variables agronómicas como espacio entre hileras, aireación, sombreado, humedad y sanidad para obtener mayor número de vainas en verde.

El confirmar que *Vanilla planifolia* J. es una planta de metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC) permite a sus estudiosos o productores tomar decisiones oportunas al momento del manejo, considerando los horarios en los que la planta se encuentra con mayor actividad. Tal sería el caso para el control de plagas o la aplicación de un fungicida para *Fusarium* spp., pues si se pretende realizarlo durante el día su eficacia es baja; sin embargo, por el metabolismo que exhibe la planta es más efectivo realizarlo por la noche.

## VI. LITERATURA CITADA

- Asprelli, P.; López, A.; Fernando, S. y Cointy, L. 2005. Caracteres agronómicos en el cultivo de espárrago de diferentes edades y manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 40 (1): 47-52.
- Anandaraj, M.; Rema, J.; Sasikumar, B. and Suseela-Bhai, R. 2005. Vanilla (Extension pamphlet). Indian Institute of Spices Research. Calicut, Kerala, India, 11 p.
- Anilkumar, A.S. 2004. Vanilla cultivation, a profitable agri-based enterprise. *Kerala Calling*. pp. 26-30.
- Arauz, C. 1998. Fitopatología: un enfoque agroecológico. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica. p. 137-139; 166-167.
- Arevalo, R.; Figueroa, J. y Madriñan, S. 2011. Anatomía foliar de ocho especies de Orquídeas epífitas. *Lankesteriana* 11(1): 39-54.
- Asseng, S.; Jamieson, P. D.; Kimball, B.; Pinter, P.; Sayre, K.; Bowden, J.W. and Howden, S.M. 2004. Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *Field Crop Res.* (85): 85-102.
- Asseng, S.; Turner, N.C.; Ray, J.D. and Keating, B.A. 2002. A simulation analysis that predicts the influence of physiological traits on the potential yield of wheat. *European Journal Agronomy*. (17): 123-141.
- Bakker, M.; Goverts, G.; Ewert, F.; Rounsevell, M. and Jones, M. 2005. Variability in regional wheat yields as a function of climate, soil and economic variables: Assessing the risk of confounding. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. (110): 195–209.
- Barrera, A.; Jaramillo, J.; Escobedo, S. y Herrera, B. 2011. Rentabilidad y competitividad de los sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* J.) en la región del totonacapan, México. *Agrociencia*. 45 (5):625-638.
- Bessembinder, J.J.E.; Leffelaar, P.A.; Dhindwal, A.S. and Ponsioen, T.C. 2005. Which crop and which drop, and the scope for improvement of water productivity. *Agric. Water Manage.* (73): 113–130.

- Bianchessi, P. 2004. Vanilla. Agriculture & curing techniques. Pacific Islands Trade & Investment Commission, Sydney.
- Bhai, S. and Dhanesh, J. 2008. Occurrence of fungal diseases in vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) in Kerala. Journal of Spices and Aromatic Crops (17): 140-148.
- Bhai, R.S. and A. Kumar. 2008. Effect of rhizobacteria on *Phytophthora meadii*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* and *Colletotrichum vanillae* infecting vanilla. Journal of Biological Control. (22):33-41.
- Bory, S.; Lubinsky, P.; Risterucci, A. M.; Noyer, J.L. ;. Grisoni, M.; Duval, M.F. and Besse, P. 2008. Patterns of introduction and diversification of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) in Réunion Island (Indian Ocean). American Journal of Botany (95): 805-815.
- Bory, S.; Grisoni, M.; Duval, M.-F. and P. Besse. 2008. Biodiversity and preservation of vanilla: Present state of knowledge. Genetic Resources and Crops Evolution (55):551-571.
- Bouman, B.A.M.; Van Keulen, H. and Rabbinge, R. 1996. The 'school of de wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. Agricultural System. (52): 171-198.
- Bruman, H. 1948. The Hispanic American Historical Review. Published by Duke University Press. 28(3):360-376.
- Buendía, B.; Allende, A.; Nicolás, E.; Alarcón, J.J. and Gil, M.I. 2008. Effect of regulated deficit irrigation and crop load on the antioxidant compounds of peaches. Journal Agricultural .Food Chemistry (56):3601–3608.
- Blas, R.H.S. and Petrescu, D. C. 2009. Potato production and its constraints in Peru. AAB Bioflux Advances in Agriculture & Botany- International Journal of the Bioflux Society Natal 1 (2): 53-57.
- Cameron, K.M. 2011. Vanilla phylogeny and Classification. Handbook of Vanilla Science and Technology, First Edition, Havkin-Frenkel D. and Belanger F.C. (Eds.). Blackwell Publishing Ltd. 243-255 pp.
- Cameron, K.M. 2011. Vanilloid orchids systematics and evolution. E. Odoux y M. Grisoni, eds. Vanilla. Medicinal and Aromatic Plants- Industrial Profiles. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp 1-13.

- Castillo, M. R. y Engleman, M. E. 1993. Caracterización de dos tipos de *Vainilla Planifolia*.. Instituto de Ecología A.C. México. Acta Botánica: 49-59.
- Castro-Bobadilla, G. and García-Franco, J. G. 2007. Vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) crop systems used in the Totonacapan area of Veracruz, Mexico: biological and productivity evaluation. Journal Food Agriculture. Environ. 5 (2): 136–142.
- Chandran, S. and Puthur, J. 2009. Assorted response of mutated variants of *Vanilla planifolia* Andr. towards drought. Acta Physiology Plantarum. (31):1023–1029.
- Chenu, K.; Chapman, S.C.; Tardieu, F.; McLean, G.; Welcker, C. and Hammer, G.L. 2009. Simulating the yield impacts of organ-level quantitative trait loci associated with drought response in maize: a “gene-to-phenotype” modeling approach. Genetics. 1(83): 1507-1523.
- Childers, N.F.; Cibes, H.R. and Hernández, E. 1959. Vanilla -The orchid of commerce. C. L. Withner, Ed. The Orchids. A Scientific Survey. The Ronald Press Co New York. pp. 477-508.
- Córdova, H. 1992. Respuestas diferenciales para rendimiento de híbridos de maíz evaluados en ambientes contrastantes de latinoamérica pccmca 1990. Agronomía Mesoamericana (3): 1-8.
- Coro Arizmendi. 2009. La crisis de los polinizadores. Biodiversitas, 85.
- Curtí, E. D. 1995. Cultivo y beneficiado de vainilla en México. Organización Nacional de Vainilleros Indígenas de México. 96 p.
- Damiron, R. 2004. La vainilla y su cultivo. Dirección General de Agricultura del Estado de Veracruz, México.
- Davis, E.W. 1983. Experiences with Growing Vanilla (*Vanilla planifolia*). Acta Hort. (132):23-30.
- Debaeke, P. 2004. Scenario analysis for cereal management in water-limited conditions by the means of a crop simulation model (STICS). Agronomie (24): 315- 326.
- DeJonge, K.C.; Kaleita, A.L. and Thorp, K.R. 2007. Simulating the effects of spatially variable irrigation on corn yields, costs, and revenue in Iowa. Agric. Water Management. (92): 99 -109.
- Del Pozo, A.; Matús, I.; Serret, M. D. and Araús, J. L. 2014. Agronomic and physiological traits associated with breeding advances of wheat under high-productive Mediterranean conditions. The case of Chile. Environmental and Experimental Botany. (103):180–189

Divakaran, M.; Babu, N.; Ravindran, P. N. and Peter, K. V. 2006. Interspecific hybridization in vanilla and molecular characterization of hybrids and selfed progenies using RAPD and AFLP markers. *Scientia Horticulturae* (108): 414-422.

Evans, L. T. 1975. Crops and world crop supply, crop evolution and the origins of crop physiology. In: Evans, L. T. ed. *Crop Physiology: some case histories*. U. K. Cambridge University Press. Pp. 1-22.

Evans, L.T. 1993. *Crop Evolution, Adaptation, and Yield*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Exley, R. 2011. Vanilla Production in Australia. D. Havkin-Frenkel y F. C. Belanger, eds. *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK. pp. 69-78

FAO. 2004. El arroz y la reducción de la brecha de rendimiento. Disponible en línea: [www.rice2004.org](http://www.rice2004.org)

FAOSTAT.2010,2012. Consulta en línea en página: (<http://faostat.fao-arg/site/339/default.aspx>)

Fondo Sectorial de Investigación en material Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos. 2012. Anexo B. Demanda del sector 2012-4. “Mejoramiento de la productividad integral del cultivo de vainilla en México que fortalezca su competitividad”.

Foley, J. 2014. Alimentar a 9 000 millones. En el futuro de la comida. *National Geographic*. 34 (5): 28-59.

Fouché, J.G., and L. Jouve. 1999. *Vanilla planifolia*: history, botany and culture in Reunion Island. *Agronomie*. (19):689-703.

Gao, Y.; Yang, L.; Shen, X.; Li, L.; Sun, J.; Duan, A. and Wu, L. 2014. Winter wheat with subsurface drip irrigation (SDI): Crop coefficients, water-use estimates, and effects of SDI on grain yield and water use efficiency. *china. Agricultural Water Management*. (146):1-10.

Gobierno del Estado de Veracruz. 2008. Cuarto Informe de Gobierno. Anexo Estadístico. Editora de Gobierno del Estado de Veracruz Ignacio de la Llave. Emiliano Zapata, Veracruz. 352 p. ([http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?\\_pageid=213,4417594&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=213,4417594&_dad=portal&_schema=PORTAL)).

- Godfray, H.; Beddington, J.; Crute, I.; Haddad, L.; Lawrence, D.; Muir, J.; Pretty, J.; Robinson, S.; Thomas, S. and Toulmin, C. 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*. (327):812-818.
- Gómez, N.M.; Moreno, F. y Díez, M.C.. 2011. El cultivo de la vainilla en Colombia. Eds. Cultivo de vainilla. Contribuciones para el desarrollo de su cadena productiva en Colombia, Medellín, Colombia. pp. 89-91.
- Gómez-Paccard, C.; Hontoria, C.; Mariscal-Sancho, I.; Pérez, J.; León, P. ; González, P. and Espejo, R. 2015. Soil–water relationships in the upper soil layer in a Mediterranean Paleixerult as affected by no-tillage under excess water conditions – Influence on crop yield. *España Soil & Tillage Research* (146): 303-312.
- Govaerts, R.; Campacci, M.A and Holland B.D. 2006. World checklist of Orchidaceae. [www.kew.org/wcsp/monocots/](http://www.kew.org/wcsp/monocots/) consultado 1 de mayo del 2014.
- Grassini, P.; Yang, H.; Irmak, S.; Thorburn, J.; Burr, C. and Cassman, K.G. 2011. Highyield irrigated maize in the Western U.S. Corn Belt: II. Irrigation management and crop water productivity. *Field Crops Research*. (120):133–144.
- Graves, A.R.; Burgess, P.J.; Liagre, F.; Terreaux, J.P. and Dupraz, C. 2005. Development and use of a framework for characterising computer models of silvoarable economics. *Agrofor. Syst.* (65): 53- 65
- Grupo Mesófilo. 2004. Productos no maderables de la chinantla. 1 (4) 1-3. En línea: <http://www.grupomesofilo.org/pdf/folletos/folleto-vainilla.pdf>
- Hanson, B.R. and May, D.M. 2006. Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agricultural Water Management* 81 (3): 381–399.
- Hernández, J. 2011. Mexican Vanilla Production. Eds. Handbook of vanilla science and technology. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK. pp. 3-24
- Hernández, J.H., y P. Lubinsky. 2011. Vanilla Production in Mexico, Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp. 345-346
- Hernández H. J., and Lubinsky P. 2010. Cultivation Systems, 75-95 pp. En: Vanilla. Ed. Eric Odoux and Michel Grisoni (Eds.). CRC Press, Boca Raton, FL.

- Hernández, E. 1943. Studies of the shade requirements of Vanilla. *The journal of the Agriculture of the University of Puerto Rico* 27:27-37.
- Herrera, C. B. E.; Castillo, G.F.; Sánchez, G. J. J.; Ortega, P. R. y Goodman M. M. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza chalqueño. *Revista Fitotecnia Mexicana*. (23): 335-254.
- INEGI. 2010 consulta en línea [www.INEGI](http://www.INEGI).
- Ikegami, M.; Whigham, D. and Werger, M. 2012. Effects of local density of clonal plants on their sexual and vegetative propagation strategies in a lattice structure model. *Ecological Modelling* (234):51– 59
- Jiménez, L. L.; Almanza, P. M. I. y Muñoz, F. J.2009. Caracterización morfológica de accesiones silvestres de guayaba. *Universidad Nacional de Colombia*. 2 (58): 69-73.
- Jin, L.; Cui, H.; Li, B.; Zhang, J.; Dong, S. and Liu, P. 2012. Effects of integrated agronomic management practices on yield and nitrogen efficiency of summer maize in North China. *Field Crops Research*. (134): 30–35.
- Jurgens, S. K.; Johnson, R. R. and Boyer, J.S. 1978. Dry matter production and translocation in maize subjected to drought during grain filling. *Agro. J.* (70): 678-682.
- Kahane, R.; Besse, P.; Grisoni, M.; Le Bellec, F. and Odoux, E. 2008. Bourbon Vanilla: Natural flavour with a future. *Chronica horticultrae* .48(2):23-28.
- Kersebaum, K. C. and Nendel, C. 2014. Site – specific impacts on climate change on wheat production across regions of Germany using different CO<sub>2</sub> response functions. *Europ. J. Agronomy*. (52): 22–32.
- Kresovic, B.; Matovic, G.; Gregoric, E.; Djuricin, S. and Bodroza, D. 2014. Irrigation as a climate change impact mitigation measure: An agronomic and economic assessment of maize production in Serbia. *Agricultural Water Management*. (139): 7–16.
- Korthou, H. and Verpoorte, R.. 2007. Vainilla. In: Berger, R. G. (Ed). *Flavours and Fragrances-Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*. Springer. pp: 204-217.

- Lalic, B.; Eitzinger, J.; Mihailovic, D.T.; Thaler, S. and Jancic, M. 2012. Climate change impacts on winter wheat yield change – which climatic parameters are crucial in Pannonian lowland? *Journal Agriculture Science*. pp. 1–18.
- Lakso, A.N. and Denning, S.S. 1996. Seasonal bioenergetic construction costs of apple fruits, leaves and shoots. *Acta Horticola* (416): 163–168.
- Lakso, A.N.; Wünsche, J.N.; Palmer, J.W. and Grappadelli, L.C. 1999. Measurement and modeling of carbon balance of the apple tree. *Hort Science* (34): 1040–1047.
- Lhomme, J.P.; Mougou, R. and Mansour, M. 2009. Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. *Clim Change*. (96): 549-564.
- Lehninger, A.; Nelson, D.; Cox, M.; Cuchillo y F. Suau, L. 2009. *Principios de bioquímica*. 5a. ed. Editorial Omega. Pp. 1241.
- Liu, S.; Mo, X.; Lin, Z.; Xu, Y.; Ji, J.; Wen, G. and Richey, J. 2010. Crop yield responses to climate change in the Huang-Huai-Hai plain of China. *Agric. Water Manag.* (97):1195-1209.
- Liu, C.; Lu, M.; Cui, J.; Li, B. and Fang, C. 2014. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis. *Global Change Biology*. (20): 1366–1381.
- Lobell, D.B.; Cassman, K.G. and Field, C.B. 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annu. Rev. Environ. Resour.* (34): 179-204.
- Loomis, R.S. and Williams, W.A. 1962. Maximum crop productivity: an estimate. *Crop Science* (3): 67-72.
- López, G.; Behboudian, M.H.; Vallverdu, X.; Mata, M.; Girona, J. and Marsal, J. 2010. Mitigation of severe water stress by fruit thinning in ‘O’Henry’ peach: implications for fruit quality. *Science. Horticulturae* (125): 294–300.
- López, G.; Medina, R.; Guillén, H.; Ramírez, L.; Aguilar, J. y Valdivia, M. 2012. Características fenotípicas de hoja y fruto en selecciones de aguacate criollo de clima subtropical en el estado de Nayarit. *Revista Fuente* 4 (10):15-27.
- Maqueira, L. A.; Torres, W.; Díaz, G. y Kirenia Torres. 2007. Efecto del sistema intensivo del cultivo arrocero (sica) sobre algunas variables del crecimiento y el rendimiento en una variedad de ciclo corto *Cultivos Tropicales*, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cuba. 28 (2): 59-61.

- Matthews, R.B. and Stephens, W. 2002. Crop-soil Simulation Models: Applications in Developing Countries. CABI.
- Menon, P. P.; Kuruvila, K. M. and Madhusoodanan, K. J.. 2002. Yield prediction in Vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) from Indian Cardamom Research Institute. Proceedings of placosym. 414-415.
- Meza, F.J. and Silva, D. 2009. Dynamic adaptation of maize and wheat production to climate change. *Climate Change*. (94):143-156.
- Moorby, J. 1981. Transport systems in plants. Lonman and technical. New York, EUA. 169 p.
- Mu, H.; Jiang, D.; Wollenweber, B.; Dai, T.;Jing, Q. and Cao, W. 2010. Long-term low radiation decreases leaf photosynthesis, photochemical efficiency and grain yield in winter wheat. *Journal Agriculture. Science*. (196): 38–47.
- Natali, C.; Pacín, F. y Gutiérrez, F. 2005. Factores que afectan el rendimiento de trigo en el centro sur de Santa Fé. *Revista Informaciones Agronómicas* www. IPNI.net. (34): 20-26.
- Nelson, E.A.; Sage, T.L. y Sage, R.F. 2005. Functional leaf anatomy of plants with crassulacean acid metabolism. *Funct. Plant Biol*. (32): 409–419.
- Odoux, E. y Grisoni, M. 2010. Vanilla. Taylor and Francis Group. USA. Pp. 387.
- Olesen, J.E.; Trnka, M.; Kersebaum, K.C.; Skjelvåg, A.O.; Seguin, B.; Peltonen-Sainio, P.; Rossi, F.; Kozyra, J. and Micale, F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy* 34 (2): 96–112.
- Ortiz-Hernández, Y. D.; Livera-Muñoz, M.; Colinas-León M.T.; Carrillo-Salazar, A. 1999. Water estrés and CO<sub>2</sub> exchange rate of pitahaya (*Hylocereus undatus*)/ Estrés hídrico e intercambio de CO<sub>2</sub> de la pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agrociencia*. (33): 397-405.
- Osorio, A.I.; Gómez, N.M.; Arango, D.A.; Moreno, F.; Díez, M.C. y N.W. Osorio. 2011. Establecimiento y manejo del cultivo de vainilla. *Cultivo de vainilla. Contribuciones para el desarrollo de su cadena productiva en Colombia, Medellín, Colombia*. pp. 45-58.
- Owaga, J. 1986. Field Test procedures for evaluation of fungicides to control *Monilinia laxa* on stone fruits. In Hickey, Kenneth (Ed). *Methods for evaluating pesticides for control of plant pathogens*. American Phyto pathological Society Press. p 152.154.

- Padilla-Vega, J. 2011. Sobre los árboles: el mejor lugar para cultivar vainilla. LEISA Revista de Agroecología 27(2):24-26.
- Passioura, J. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce—from breeding to field management. Agric. Water Management.(80): 176–196.
- Peralta, A. 1988. Efecto de algunas variables climáticas sobre la fenología y rendimiento del cultivo de la fresa (*Fragaria* spp.) programa de investigaciones agropecuarias, centro agropecuario. México. En línea.
- Phene, C.J.; Davis, K.R.; Hutmacher, R.B. and McCormick, R.L. 1987. Advantages of subsurface drip irrigation for processing tomatoes. Acta Hortícola. (200):101–113.
- Pinaria, A.G.; Liew, E.C.Y. and Burgess, L.W.. 2010. *Fusarium* species associated with vanilla stem rot in Indonesia. Australasian Plant Pathology. (39):176-183.
- Picken, A.; Steward, K. and Klapwijk, D. 1986. Germination and vegetative development. In: Atherton J, G. ; Rudich, J. (Eds.) The tomato crop. Chapman and Hall Ltd. New York, EUA. 111-165 p.
- Ploetz, R.C. 2006. *Fusarium*-Induced Diseases of Tropical, Perennial Crops. Phytopathology 96:648-652.
- Porras-Alfaro, A. and Bayman, P. 2007. Mycologia Mycorrhizal fungi of Vanilla diversity, specificity and effects on seed germination and plant growth. Mycologia, 99 (4): 510-525.
- Purseglove, J.W.; Brown, E.G.; Green, C.L.; and Robbins, S.R.J. 1981. Vanilla. Longman Scientific and Technical Publisher, England. Spices. (2): 644–735.
- Priefert, H.; Rabenhorst, J. and Steinbiichel, A. 2001. Biotechnological production of vanillin. Applied Microbiology and Biotechnology. (56): 296–314.
- Prodesis. 2005. Manual de asistencia técnica para la producción de vainilla en parcela agroforestal y acahuals en Chiapas, México Vainilla de la Lacandonia S.A de C.V, México.
- Radjacommare, R.; Venkatesan, S. and Samiyappan, R.. 2010. Biological control of phytopathogenic fungi of vanilla through lytic action of *Trichoderma* species and *Pseudomonas fluorescens*, Taylor & Francis. (43): 1-17.

- Ranadive, A.S. 2005. Vanilla cultivation. The proceedings of the First International Congress. Princeton, NJ., USA, November 11-12, 2003. 25-31.
- Ranadive, A.S. 2011. Quality control of vanilla beans and extracts. Handbook of Vanilla Science and Technology, First Edition, Blackwe. pp. 141-161.
- Rathore, V. S.; Singh, J. P.; Meel, B. and Nathawat, N. S. 2014. Agronomic and economic performance of different cropping systems in hot, arid environment: A case of study from North Western, Rajasthan, India. Journal of Arid Environments. (105): 75- 90.
- Reddy, M.G. ; Kumar, H.D.M. and Salimath, P.M. 2008. Heterosis studies in chillies (*Capsicum annuum* L.). Karnataka Journal Agricultural Science. (21): 570–571.
- Reyes-López, D.; Quiroz-Valentín, J.; Kelso-Bucio, H.; Huerta-Lara, M.; Avendaño-Arrazate, C.; Lobato-Ortíz, R. 2015. Caracterización estomática de cinco especies del género vanilla. Agronomía Mesoamericana. 26(2):237-246.
- Reyes, D. L.; Rodríguez, M. B.; Kelso, B. H.; Huerta, L. M. y Ibáñez, M. A. 2008. Beneficiado Tradicional de Vainilla. Editorial Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. 72 p.
- Reyes, R. 1999. Manual técnico: Buenas prácticas en el cultivo de la piña. Panamá. Disponible en <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BIBLIOTECAVIRTUAL/MANUALPIÑA.PDF>.
- Rivera, C. 2007. Conceptos introductorios a la fitopatología. Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED). p. 6-13.
- Robertson, A. E. 2008. Methods of collecting plant disease. Plant Management Network. Proceedings On Farm Research Conference. Iowa State University. Video 25 min and 57 seconds. Iowa, USA.
- Romero, P.; Navarro, J.M.; Pérez, P.J.G.; García, S.F.; Gómez, G.A. and Botía, P. 2006. Deficit irrigation and rootstock: their effects on water relations, vegetative development, yield, fruit quality and mineral nutrition of clemenules mandarin. Tree Physiology. (26): 1537–1548.

- Rötter, R.P., Carter, T.R., Olesen, J.E., Porter, J.R. 2011. Crop-climate models need an overhaul. *National Climate Change*. (1):175–177
- Ruíz, C. J. A.; Pimienta, B. E. Zañudo, H. J. 2002. Regiones térmicas óptimas y marginales para el cultivo de Agave tequilana en el estado de Jalisco. *Agrociencia*. 36 (1): 41-53.
- Sachan, D. 2005. Exim bank: research brief no. 17. Mumbai, India: World Trade Centre Complex.
- Sánchez, M. S. 1992. Manual de producción de vainilla en el estado de Veracruz. Manual para productores # 3. SARHINIFAP Campo Experimental Papantla. Papantla, Veracruz, México. 28 p.
- Sánchez, M. S.; Becerril, A. R.; Tijerina, A. L. C. y Santiago, J. S. A. 2001. Crecimiento y desarrollo de Vainilla en tres sistemas de producción en Papantla, Veracruz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 24 (1): 49-56.
- Santiago, J.; Mendoza, M. y Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía mesoamericana* 9(1): 59-65.
- Sarma, Y.R., Thomas, J.; Sasikumar, B. and Varadarasan, S.. 2011. Vanilla Production in India. *Vanilla. Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles*. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp. 295-326.
- Salazar, R. V. 2011. Tesis Doctoral. Estrategia de uso y conservación del germoplasma de *Vanilla planifolia* Jack., en la región Totonacapan Puebla-Veracruz. Colegio de Posgraduados Campus Puebla.
- Salisbury, F.B. y Ross, C. W. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica, México.
- SAS, Institute. 1995. *SAS Procedures Guide*. Ver. 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, U.S.A. 1643 p.
- Semenov, M.A.; Martre, P. and Jamieson, P.D. 2009. Quantifying effects of simple wheat traits on yield in water-limited environments using a modelling approach. *Agriculture For Meteorology*. (149): 1095-1104.
- SIAP. 2012. EN LÍNEA WWW. SIAP. GOB.MX consultado el 12 junio 2014.

- Shili-Touzi, I.; Tourdonnet, S.D.; Launay, M. and Dore, T. 2010. Does intercropping winter wheat (*Triticum aestivum*) with red fescue (*Festuca rubra*) as a cover crop improve agronomic and environmental performance? A modeling approach. *Field Crop Research*. (116): 218 -229.
- Solomon, S.; Qin, D.; Manning, Z.; Chen, M.; Marquis, K.B.; Averyt, M.; Tignor and Miller, H.L. (eds). 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY. USA. 996 p.
- Soto-Arenas, M. A. 1999. Filogeografía y recursos genéticos de las vainillas de México. Instituto Chinoín AC. Informe final SNIBConabio, proyecto J101. México D. F.
- Soto-Arenas, M.A. 2003. *Vanilla, Genera Orchidacearum Orchidoideae Vanilloideae*. Oxford University Press, Oxford. 3 (2): 321-334
- Soto-Arenas, M. A. 2006. Los retos de un cultivo basado en una especie amenazada con una historia de vida compleja. Memoria del Congreso Internacional de Productores de Vainilla. Papantla, Veracruz, mayo.
- Stéhlé, H. 1954. *Ecologie, Vanille dans le Monde*, Encyclopédie Biologique, París. pp. 291-334.
- Steiner, A. 1961. A universal method for preparing nutrient solution of a certain desired composition. *Plant Soil*. (15): 134-154.
- Straver, J.T.G. 1999. *Vanilla planifolia*. Plant resources of South-East Asia No. 13: Spices. Backhuys Publisher, Leiden, The Netherlands. pp. 228-233.
- Téllez, M. A. A. 2011. El fruto mágico de una orquídea: La vainilla. Editor Instituto de Biología de la UNAM.
- Theodose, R. 1973. Traditional Method of Vanilla Preparation and Their Improvement. *Tropical Science*. (15): 47-87.
- Tian, Z.; Jing, Q.; Dai, T.; Jiang, D.; Cao, W. 2011. Effects of genetic improvements on grain yield and agronomic traits of winter wheat in the Yangtze river basin of China. *Field Crops Research*. (124): 417–425.
- Thomas, J. and Suseela, B. 2001. Sclerotium rot – a new disease of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) in India. *Journal of Spices and Aromatic Crops*. (9): 175-176.

- Tojo Soler, C.M.; Sentelhas, P.C. and Hoogenboom, G. 2007. Application of the CSMCERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *European Journal Agronomy*. (27): 165-177.
- Toussaint-Samat, M. 2002. La vainilla en México, una tradición con un alto potencial. *Revista ASERCA*. pp 3-44.
- Tombe, M. y Liew, E.C.Y. 2011. *Fungal Diseases of Vanilla. Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles*. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp. 125-140
- Tornés Olivera. 2008. Influencia de la uniformidad de riego sobre las variables del rendimiento del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) revista electrónica granma ciencia. Issn 1027-975x. 2(2).
- Van Ittersum, M.; Cassman, K. G.; Grassini, P.; Wolf, J.; Tittone, P. and Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance- A review. *Field Crops Research*. (143): 4-17.
- Violic, A.D.; Kocher, F.; Palmer, A.F. and Nibe, T. 1982. *Experimentación en Labranza-Cero en Maíz en la Región Costera del Norte de Veracruz. Reunión Latino-americana de Ciencias Agrícolas*, ALCA, Chapingo, México.
- Violic, A.D.; Kocher, F.; Palmer, A.F.E. and Nibe, T. 1991. Zero-tillage maize experimentation in the coastal region of northern Veracruz. In *Maize conservation tillage*. Training Working Document 7. Mexico, DF, CIMMYT.
- Voloudakis, D.; Karamanos, A.; Economou, G.; Kalivas, D.; Vahamides, P.; Kotoulas, V.; Kapsomenakis, J. and Zerefos, C. 2015. Prediction of climate change impacts on cotton yields in Greece under eight climatic models using the AquaCrop crop simulation model and discriminant function analysis. *Agricultural Water Management*. (147): 116–128.
- Walton, E.F.; Wünsche, J.N. and Palmer, J.W. 1999. Estimation of the bioenergetic costs of fruit and other organ synthesis in apple. *Physiology Plant*. (106): 129–134.
- Willoquet, L.; Aubertot, J.N.; Lebard, S.; Robert, C.; Lannou, C. and Savary, S. 2008. Simulating multiple pest damage in varying winter wheat production situations. *Field Crops Research*. (107):12–28.
- Weiss, E.A. 2002. *Orchidaceae. Spice Crops*. CABI Publishing, Wallington, UK. pp. 136–154.

- Wünsche, J.N. and Ferguson, I. 2005. Crop load interactions in apple. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. (31): 231–290.
- Zhang, J.; Wang, Y. and Li. 2015. Soil organic carbon and nitrogen losses due to soil erosion and cropping in a sloping terrace landscape. *Soil Research*. (53):87-96.
- Zhao, F.; Li, Y.; Dai, X.; Verhoef, W.; Guo, Y.; Shang, H.; Gu, X.; Yu, T.; Gu, X.; Huang, Y.; Yu, T. and Huang, J. 2015. Simulated impact of sensor field of view and distance on field measurements of bidirectional reflectance factors for row crops. *Remote Sensing of Environment*. (156):129–142.
- Zegbe, J.; Serna-Pérez, A. and Mena-Covarrubias, J. 2014. Mineral nutrition enhances yield and affects fruit quality of ‘Cristalina’ cactus pear. *Scientia Horticulturae*. (167): 63-70.
- Xia-Hong, H. 2007. *Bio-Control of Root Rot Disease in vanilla*, University of Wolverhampton, Wolverhampton.
- Xiao, D. y Tao, F. 2014. Contributions of cultivars, management and climate change to winter wheat yield in the North China plain in the past three decades. *European Journal Agronomy*. (52): 112–122.
- Yang, H. S, Dobermann, A. Lindquist, J. L.; Walters, D. T.; Arkebauer, T. J. and Cassman, K. G. 2004. Hybrid maize—a maize simulation model that combines two crop modeling approaches. *Field Crops Research*. (87):131–54
- Zhou, H.; Wang, Y.; Wang, H.; Xurui and Chen, D.. 2011. *Vanilla Production in China*. *Vanilla. Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles*. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp. 347-360.