

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

POSGRADO EN PROTECCIÓN VEGETAL

PROSPECCIÓN DE HONGOS ASOCIADOS A TIZÓN DE TALLO Y MUERTE  
REGRESIVA DEL ARÁNDANO (*Vaccinium* spp.) Y SU RELACIÓN CON  
LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUSTRATO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA:

ANA KAREN MARTÍNEZ VIVANCO

Bajo la supervisión de: DR. JOEL PINEDA PINEDA



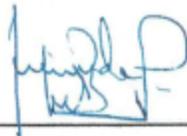
**APROBADA**



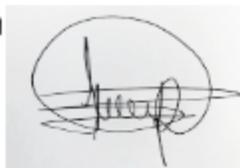
**Prospección de hongos asociados a tizón de tallo y muerte regresiva del arándano (*Vaccinium* spp.) y su relación con las propiedades fisicoquímicas del sustrato.**

Tesis realizada por la **Ing. Ana Karen Martínez Vivanco** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL**

Director:  \_\_\_\_\_

Dr. Joel Pineda Pii



Asesor: \_\_\_\_\_

Dr. Ángel Rebollar Alviter

Asesor:  \_\_\_\_\_

Dr. Santos Gerardo Leyva Mir

Asesor:  \_\_\_\_\_

M. C. Luis Emilio Castillo Márquez

## ÍNDICE GENERAL

<b>1.</b>	<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN GENERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>CAPITULO 2: REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1	Origen .....	5
2.2	Importancia en México .....	5
2.3	Descripción botánica de la planta de arándano .....	5
2.4	Principales enfermedades del arándano a nivel mundial .....	6
2.5	Principales enfermedades del cultivo a nivel nacional .....	7
2.6	Enfermedades de importancia en arándano .....	7
2.6.1	Tizón de tallo y marchitez de puntas .....	7
2.6.2	Muerte regresiva.....	8
2.6.3	Manchas foliares.....	8
2.6.4	Amarillamiento y secamiento del arándano .....	9
2.6.5	Pudrición de raíz.....	9
2.7	Agentes causales de enfermedades del arándano .....	9
2.7.1	Tizón de tallo, <i>Pestalotiopsis spp.</i> .....	9
2.7.2	Muerte regresiva, <i>Lasiodiplodia spp.</i> .....	10
2.7.3	Muerte regresiva, <i>Neofussicoccum spp.</i> .....	10
2.7.4	Mancha foliar, <i>Corynespora spp.</i> .....	11

2.7.5	Mancha foliar, <i>Alternaria spp.</i> .....	11
2.7.6	Amarillamiento y secamiento del arándano, <i>Fusarium spp.</i> .....	12
2.7.7	Pudrición de raíz, <i>Phytophthora spp.</i> .....	12
2.8	Sustratos de cultivo.....	12
2.9	Clasificación de sustratos .....	15
2.10	Materiales más utilizados como sustratos en México .....	15
2.11	Características físicas de los sustratos.....	18
2.12	Características químicas de los sustratos.....	20
2.13	Composición del sustrato y su papel en el desarrollo de patógenos .....	22
2.14	Influencia de la esterilización de sustratos y el desarrollo de hongos en el suelo	27
2.15	Papel de los nutrientes en las enfermedades de cultivos .....	28
2.16	Influencia del pH en el desarrollo de enfermedades .....	36
2.17	Literatura citada .....	38
<b>3.</b>	<b>CAPITULO III: DIAGNOSTICO DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE SUSTRATOS Y HONGOS ASOCIADOS A TIZÓN DE TALLO, MARCHITEZ DE PUNTAS Y MUERTE REGRESIVA DE ARÁNDANO .....</b>	<b>57</b>
3.1	Resumen.....	57
3.2	Introducción .....	58
3.3	Materiales y métodos.....	60
3.3.1	Muestreo.....	60

3.3.2	Análisis de tejido vegetal.....	60
3.3.3	Aislados monospóricos.....	61
3.3.4	Identificación morfológica.....	62
3.3.5	Análisis de sustratos.....	63
3.3.6	Variables físicas.....	63
3.3.7	Variables químicas.....	64
3.3.8	Determinación de pH y CE.....	64
3.3.9	Determinación de niveles de nutrientes.....	65
3.4	Resultados.....	66
3.4.1	Diagnóstico de hongos fitopatógenos asociados a sintomatologías de tallo en arándano.....	66
3.4.2	Información obtenida en campo.....	69
3.4.3	Diagnóstico de sustratos y sus propiedades fisicoquímicas.....	69
3.4.4	Propiedades físicas del sustrato.....	70
3.4.5	Propiedades químicas del sustrato.....	71
3.5	Discusión.....	71
3.6	Conclusión.....	86
3.7	Literatura citada.....	88

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Niveles óptimos de propiedades físicas en sustratos. ....	14
Cuadro 2. Propuesta de soluciones nutritivas para arándano durante las diferentes etapas fenológicas modificada a $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Bolaños et al., 2019). ....	22
Cuadro 3. Estilo de vida de algunos patógenos .....	30
Cuadro 4. Mezcla de materiales utilizados como sustratos, proporción de la mezcla, frecuencia y el número asignado.....	70
Cuadro 5. Propiedades de los sustratos en niveles óptimos, altos y bajos .....	78
Cuadro 6. Análisis de varianza de las propiedades físicas en diferentes de sustratos .....	97
Cuadro 7. Comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$ ) de propiedades físicas entre diferentes sustratos. ....	98
Cuadro 8. Comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$ ) en propiedades físicas por edad de uso (años) del sustrato.....	99
Cuadro 9. Análisis de varianza de la concentración ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) de nutrientes en el extracto de saturación de diferentes sustratos.....	101
Cuadro 10. Comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$ ) de la concentración de nutrimentos ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en el extracto de saturación de diferentes sustratos.....	102
Cuadro 11. Comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$ ) de la concentración de nutrimentos ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en el extracto de saturación de los sustratos con diferente tiempo de uso o edad (años). ....	104

Cuadro 12. Comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$ ) de la concentración ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) de nutrimentos en el extracto de saturación de sustratos con planta en condición sana (1) o enferma (2).....	106
Cuadro 13. Comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$ ) de propiedades físicas de los sustratos con planta en condición sana (1) o enferma (2).....	107
Cuadro 14. Correlaciones de Pearson con coeficiente de relación moderado. ....	108
Cuadro 15. Coeficientes de correlación de Pearson con coeficiente de correlación bajo. ....	109
Cuadro 16.- Proporción de la varianza explicada por cada componente. ....	110
Cuadro 17.- Correlaciones de cada componente con las variables fisicoquímicas y la incidencia y severidad de tizón de tallo, marchitez de punta y muerte regresiva en arándano .....	111

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Crecimiento micelial de *Pestalotiopsis* sp. en medio papa dextrosa agar (PDA), b) morfología conidial, c) crecimiento micelial de *Fusarium* spp en medio PDA y d) conidios del género, e) crecimiento de *Lasiodiplodia* spp en acículas de pino en medio PDA y f) conidios formados en las acículas, g) crecimiento de *Neofusicoccum* sp. en medio PDA y h) conidios hialinos del género. .... 67

Figura 2. a) Síntomas iniciales de tizón de tallo causados por *Pestalotiopsis* sp, ramas color oliváceo y follaje enrollado, b) marchitez por daño vascular del patógeno, ramas color marrón claro, c) ramas secas color marrón oscuro y d) avance del 50% de tallos afectados por este patógeno. .... 68

Figura 3. a, b y c) Síntomas de marchitez de puntas causada por *Pestalotiopsis* sp y progreso de la enfermedad. .... 69

Figura 4. a) Síntomas internos de muerte descendiente causada por *Pestalotiopsis*, *Botryosphaerias* y *Alternaria* spp, b) acérvulos en tallo de arándano y micelio blanco algodonoso característico de *Pestalotiopsis*, c) síntomas de muerte descendiente en tallo, d) inicio y avance de necrosis característica de muerte descendiente. .... 69

## Dedicatoria

### A Dios

Por darme la vida, por la fuerza que me ha dado para seguir adelante en las situaciones más difíciles de mi vida.

### A mis padres

**Abraham Martínez Ramírez** y **Victorina Vivanco Flores** por el apoyo y consejo que siempre me han brindado y con el cual he logrado realizar todas mis metas, por ser mi ejemplo a seguir de sacrificio, trabajo duro y voluntad, por ser la mejor guía en mi camino, por toda su sabiduría, su alegría y sobre todo su amor. Con toda mi admiración, respeto y amor.

### A mis hermanos

**Rosy, Jaime, Abraham** y **Marcos** porque son mi ejemplo a seguir de trabajo duro, no podría contar lo mucho que ustedes me han enseñado y en las dificultades siempre han estado conmigo, por su gran apoyo, sus risas y su buena vibra, sé que me apoyan incondicionalmente y siempre serán un orgullo para mí. ¡Los quiero mucho!

## Agradecimientos

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por la beca otorgada para el financiamiento de mis estudios de maestría.

A la **Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola** en especial al posgrado **Maestría en Ciencias en Protección Vegetal** por darme la oportunidad de seguir con mi formación académica.

Al coordinador de posgrado **M.C Antonio Segura Miranda** por el apoyo brindado.

A la empresa **AgriBerries y a los ranchos de arándano** por su disponibilidad y apoyo brindado para el desarrollo de la tesis.

Al **Dr. Joel Pineda Pineda**, por su tiempo, disposición, dedicación, paciencia y valiosas aportaciones realizadas al desarrollo de este trabajo.

Al **Dr. Ángel Rebollar Alviter**, por su tiempo, apoyo, compromiso y empeño en el desarrollo de la investigación.

Al **Dr. Santos Gerardo Leyva Mir** por las facilidades brindadas en el laboratorio de hongos fitopatógenos.

Al **M.C. Luis Emilio Castillo Márquez** por los conocimientos brindados en especial la parte de análisis de datos de esta investigación.

A los laboratoristas **Uriel, Sarahi, Guadalupe y Haydé Sánchez** por su apoyo en el laboratorio de fitopatología y fisiología vegetal para el procesamiento de muestras.

A **Lidia Muñoz** por su apoyo como compañera de tesis.

A mi mejor amigo **Carlos Celio López** una gran persona, que hizo siempre mis días muy alegres en el posgrado con su carisma tan especial y sobre todo por tan divertida amistad.

**Eduardo Negrete Herrera** un amigo muy sincero que atravesó conmigo esta etapa tan divertida y a veces estresante, por los momentos tan agradables que compartimos, por sus consejos, su apoyo y sobre todo su buen humor.

A **Diana, Iliana e Ivonne** por todos los momentos buenos que compartimos y por su apoyo y claro a mis **compañeros de generación** por compartir momentos de gran alegría, les deseo mucho éxito en todos sus proyectos.

## **Datos biográficos**

### **Datos personales**

Nombre: Ana Karen Martínez Vivanco

Fecha de nacimiento: 16 de junio de 1992

Lugar de nacimiento: Cuernavaca, Morelos, México.

CURP: MAVA920616MMSRVN09

Profesión: Licenciatura como Ingeniero Hortícola

Cédula profesional: 10657538

Preparatoria (2007-2010) Técnico en administración de empresas en Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica, Cuernavaca, Morelos, México.

Licenciatura (2011-2015) Licenciatura en Ingeniero Hortícola en Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

En el año 2019 fue aceptada para cursar los estudios correspondientes a la Maestría en Ciencias en Protección vegetal del departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Como requisito para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Protección Vegetal defendió la presente investigación.

## Resumen general

El cultivo de arándano es económicamente importante en México. Los síntomas como tizón de tallo, marchitez de puntas y muerte descendente se han observado con frecuencia durante los últimos 5 años afectando la producción. Por otra parte, el sistema de producción que va en aumento implica el uso de sustratos, ya que permite un mejor control de crecimiento, desarrollo y producción. Por ello, los objetivos de esta investigación fueron identificar los patógenos asociados a tizón de tallo, muerte de puntas y muerte regresiva en arándano, identificar los materiales más utilizados como sustratos de este cultivo y el estado de sus propiedades físico-químicas y finalmente realizar un análisis de correlación para determinar cuáles factores estaban involucrados en la incidencia y severidad de enfermedades. Se realizó una colecta en 32 parcelas, se tomaron muestras compuestas de sustrato y se colectaron tallos enfermos en 5 puntos distribuidos al azar. De los tallos se realizaron aislamientos en medio PDA obteniendo cultivos monospóricos y se identificaron a los microorganismos morfológicamente. Se evaluaron las propiedades de los sustratos siguiendo la metodología de De Boodt para propiedades físicas, y para las químicas se aplicaron técnicas de volumetría, espectrofotometría, colorimetría y absorción atómica. Los patógenos identificados fueron *Pestalotiopsis* sp, *Fusarium* sp, *Lasiodiplodia* sp y *Neofusicoccum* sp. Mientras que los sustratos encontrados con más frecuencia fueron fibra y microchips de coco, turba, perlita, tepojal y tezontle. Se utilizó el análisis de correlación de Pearson y el análisis de componentes principales para determinar aquellas correlaciones significativas entre las propiedades físico-químicas y la incidencia y severidad de enfermedades de tallo. Las correlaciones significativas obtenidas del análisis de correlación de Pearson fueron: sodio-fósforo, conductividad eléctrica-magnesio, variedad-densidad aparente, fósforo-cobre, cobre-espacio poroso total, agua fácilmente disponible-capacidad de retención de humedad, magnesio-calcio, potasio-edad, densidad-patógeno, zinc-manganeso, cobre-tejido, zinc-hierro, sustrato-densidad aparente; las correlaciones significativas del análisis de componentes principales fueron K, P, CRH, Na, edad, Ca, ADD, AFD; en el segundo componente principal estuvo Cu, Fe, Zn, DAP, EPT, CA; el componente principal 3, estuvo representado por el NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, pH, AR, ATD y ADD, y en el componente 4 se ubicó la incidencia y severidad con menor contribución a la varianza.

**Palabras clave:** cultivo sin suelo, patógenos, incidencia y severidad de enfermedad.

## Abstract

The cultivation of blueberries is economically important in Mexico. Symptoms such as stem blight, tip wilting, and downward death have been observed frequently over the past 5 years affecting production. Likewise, the increasing production system involves the use of substrates, since it allows better control of growth, development, and production. Therefore, the objectives of this research were to identify the pathogens associated with stem blight, tip wilt and blueberry dieback, to identify the materials most used as substrates of this crop, and the state of their physico-chemical properties, and finally to perform an analysis correlation to determine what factors were involved in the incidence and severity of diseases. A collection was carried out in 32 plots, samples composed from substrate were taken and diseased stems were collected in 5 points distributed at random. The stems were isolated in PDA medium, obtaining monosporic cultures and the microorganisms were identified morphologically. The properties of the substrates were evaluated following the De Boodt methodology for physical properties, and for chemical properties volumetry, spectrophotometry, colorimetry and atomic absorption techniques were applied. The pathogens identified were *Pestalotiopsis* sp, *Fusarium* sp, *Lasiodiplodia* sp and *Neofusicoccum* sp. While the most frequently found substrates were coconut fiber and microchips, peat, perlite, tepojal and tezontle. Pearson's correlation analysis and principal component analysis were used to determine those significant correlations between the physicochemical properties and the incidence and severity of stem diseases. The significant correlations obtained from the Pearson correlation analysis were: sodium-phosphorus, electrical conductivity-magnesium, variety-apparent density, phosphorus-copper, copper-total pore space, readily available water-moisture retention capacity, magnesium-calcium, potassium-age, density-pathogen, zinc-manganese, copper-tissue, zinc-iron, substrate-apparent density; the significant correlations of the principal component analysis were K, P, CRH, Na, age, Ca, ADD, AFD; in the second main component was Cu, Fe, Zn, DAP, EPT, CA; the main component 3 was represented by NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, pH, AR, ATD and ADD, and in component 4 the incidence and severity were located with the lowest contribution to the variance.

**Keywords:** soilless culture, pathogens, incidence and severity of disease

## 1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN GENERAL

El arándano pertenece a la familia Ericaceae, género *Vaccinium*, que forman un grupo taxonómico diverso. Ehlenfeldt y Ballington (2012) mencionan que los arándanos que actualmente se encuentran en producción comercial son: *Vaccinium angustifolium*, *Vaccinium corymbosum* L. (arándano alto) y *Vaccinium corymbosum* forma *ashei* (arándano ojo de conejo).

En los últimos años la producción de arándanos se ha vuelto popular debido a la amplia publicidad que han recibido como antioxidantes. El fruto es una baya comestible con pulpa dulce y jugosa, es una de las fuentes más ricas de antioxidantes (Prior y Wu, 2013).

El arándano se introdujo en México en el año 1996 y en la última década ha tenido un crecimiento en producción de más de 800%, dicho crecimiento es atribuido a la alta demanda de este fruto en Europa, Asia y Norte América (Pérez, 2018).

En México, los fruticultores de arándano orientan sus esfuerzos productivos para satisfacer la demanda externa de la baya, en 2019 se logró un máximo histórico de poco más de 48 mil toneladas exportadas. A nivel nacional Jalisco ocupa el primer lugar con un volumen cosechado de 29,471 toneladas, le siguen los estados de Michoacán, Sinaloa y Baja California. Los meses con mayor disponibilidad del fruto es junio y diciembre (SIAP, 2020).

El arándano debe ser cultivado en sitios con buena iluminación y en suelos bien drenados, suelos franco arenosos con alto contenido de materia orgánica y un pH de 4.5 a 5.5 (Muñoz et al., 2017).

El desarrollo de diferentes cultivos utilizando sustratos tuvo como origen el uso de contenedores o macetas (Burés, 1997). Un sustrato es el material sólido natural, de síntesis o residual, orgánico o inorgánico, puro o mezclado que en un contenedor permite el anclaje del sistema radical de la planta dándole soporte e interviene o no

directamente en su nutrición (Rodríguez et al., 2013). El cultivo de arándano en sustratos ofrece la ventaja de controlar el agua, fertilizantes y pH en diferentes etapas del crecimiento vegetal (El-Kazzaz & El Kazzaz, 2017).

Otra de las razones para desarrollar un cultivo sin suelo es prevenir enfermedades de las raíces causadas por patógenos y aunque se ha observado una disminución en la diversidad de patógenos que infectan las raíces, las enfermedades ocurren con frecuencia en sistemas hidropónicos y los brotes de enfermedades a veces son mayores que en el suelo (Vallance et al., 2011).

Las enfermedades más importantes que atacan al sistema radical en el cultivo de arándano son: *Fusarium oxysporum*, que causa marchitez de follaje, reducción de rendimiento y retraso del crecimiento de las plantas; *Phytophthora cinnamomi* con síntomas de clorosis, retraso en el crecimiento, raíces necróticas y una reducción de más del 40% en el número de hojas (Shands et al., 2016); *Rhizoctonia fragariae* y *Rhizoctonia solani* que provocan lesiones en el tallo y la raíz, manchas en las hojas y defoliación (Haralson et al., 2013).

Por otra parte, las enfermedades aéreas más importantes en arándano son roya causada por *Thekopsora minima*, cuyos síntomas en las hojas son pequeñas manchas amarillas, volviéndose necróticas y eventualmente cubren grandes áreas de la hoja, en el envés se observan numerosas manchas de color marrón, y se producen montones de soros en polvo con uredinios llenos de urediniosporas, las manchas tienen de 2 a 10 mm de diámetro con uredinia de color anaranjado (Zheng, 2017). *Alternaria* causa lesiones foliares circulares a irregulares, de color marrón claro a gris, de 1 a 5 mm de diámetro, con bordes distintos de color rojo pardusco oscuro (Usted et al., 2014). *Botrytis cinerea* conocido como moho gris que infecta cuando las condiciones climáticas son favorables y prevalecen durante la etapa de crecimiento, este patógeno provoca tizones de las flores y las ramitas y una pudrición suave en los frutos maduros en el momento de la cosecha y durante el almacenamiento (Rivera et al., 2013). *Pestalotiopsis* spp. provoca daños foliares en forma de manchas foliares,

de 0.4 a 0.8 cm de diámetro, con márgenes marrones que se agrandan e incluso se fusionan (Xue et al., 2018); en tallo provoca canchros que pueden desarrollarse debajo de heridas de poda, incluso en algunos canchros pueden observarse acérvulos negros elipsoidales negros (Gonzalez et al., 2012); en la raíz los síntomas son plantas con pudrición de la raíz que toma una coloración oscura y reducción en el sistema de raíces, generando hojas amarillas y defoliación (Xue et al., 2018), finalmente se observa la mortalidad de las plantas. *Lasiodiplodia* spp. sus síntomas son muerte descendente de ramas y muerte regresiva de tallos, afecta el rendimiento; las etapas avanzadas de esta enfermedad pueden causar la muerte prematura de la planta ya que genera ramas individuales necróticas con hojas adheridas y decoloración marrón de los tallos que se extiende a lo largo de la rama afectada (Xu et al., 2015), en reportes recientes se observó que este patógeno entra a través de aberturas naturales o heridas (Flor et al., 2019).

Los sustratos se utilizan para minimizar impactos en el rendimiento del arándano ocasionados por enfermedades radiculares; sin embargo, las características físico-químicas de éstos interactúan con el microbioma de las raíces, de cuya interacción surgen condiciones óptimas para el desarrollo de diversas enfermedades, tanto en raíces como foliares; entre las características que más influyen en el desarrollo de éstas son pH, granulometría, composición orgánica e inorgánica y algunas prácticas de manejo como riegos, esterilización del suelo/sustrato, y el tipo de fertilizantes, en específico, uso de nitratos o amonio (Moreno et al., 2019; Pietraszko et al., 2018; Hoper y Alabouvette, 1996).

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Identificar los agentes causales de los síntomas de enfermedades de tallo más comunes en arándano, así como los tipos de sustratos más utilizados y su impacto en la incidencia y severidad en estas enfermedades.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Identificar morfológicamente a nivel de género el agente causal de los síntomas de tizón de tallo, marchitez de puntas y muerte regresiva de arándano en Jalisco y Michoacán.

Evaluar las características físico-químicas de los materiales utilizados como sustratos que presenten plantas sanas y enfermas.

Determinar la relación entre las características físico-químicas del sustrato y la incidencia y severidad de tizón de tallo, marchitez de puntas y muerte regresiva en arándano.

## 2. CAPITULO 2: REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen

Los arándanos azules son originarios de la parte Este de Norte América, su cultivo como un producto hortícola empezó en Estados Unidos, país que se mantiene como el principal productor y consumidor. Los arándanos del tipo “ojo de conejo (*Vaccinium ashei* Reade) fueron los primeros en cultivarse a finales del siglo XIX en el Sur de Estados Unidos, este país tiene un alto potencial de producción que le permite generar 340 mil toneladas por año (SIAP, 2020).

### 2.2 Importancia en México

En México se tienen condiciones edáficas y climáticas ideales para el cultivo de arándanos, en especial los microclimas tropicales y subtropicales para las variedades Biloxi y Victoria (Salgado et al., 2018). México se encuentra en el sexto lugar como productor mundial de bayas del mundo. En el año 2019, el país exportó 48,000 toneladas siendo el principal consumidor de este fruto Estados Unidos (SIAP, 2020)

A nivel nacional Jalisco ocupa el primer lugar con un volumen cosechado de 29,471 toneladas, le siguen los estados de Michoacán con 7,619, Sinaloa con 4,897 y Baja California con 3,670 (SIAP, 2020).

### 2.3 Descripción botánica de la planta de arándano

**Raíz.** - Tiene un sistema radicular reducido, fino, fibroso y superficial, el 80% de la masa radical se encuentra muy cerca de la superficie, de 30 a 40 cm de profundidad del suelo. Tienen una baja capacidad de absorción de agua y nutrimentos debido a que carecen de pelos radicales. Por lo tanto, generalmente las raíces se asocian con micorrizas formando simbiosis (Bryla y Strik, 2015). La asociación de micorrizas aumenta la capacidad de tolerar altas concentraciones de cobre y zinc (Vega y Muños, 1994). Estas micorrizas también pueden utilizar compuestos orgánicos tales como aminoácidos, péptidos, proteínas y polímeros tales como quitina y lignina, para transferir cantidades sustanciales de nitrógeno a la planta huésped. Las raíces del

arándano requieren de suelos sueltos y bien drenados, ya que no tienen la capacidad de atravesar suelos compactos; requieren de un 3-5% de contenido de materia orgánica (Medina et al., 2015).

**Tallo.** - La planta de arándano presenta un pequeño tallo subterráneo, llamado corona; es recto, cuadrangular y muy ramificado. Las ramas pequeñas son angulares y cilíndricas, sin pelillos a densamente pubescentes (Chandra, 2018).

**Hojas.** - En las variedades comerciales, las plantas son perennes leñosas de hoja caduca, con hojas simples dispuestas alternativamente en el tallo. Las hojas de los arbustos son estrechas y de forma ovalada y en algunas son en forma de espátula o en forma de lanza inversa (Darnell, 2006).

**Flores.** - Son axilares o terminales, se encuentran en racimos de 6 a 10 en cada yema, tiene una corola de color blanco con un tono rosáceo dependiendo de la variedad, la flor se forma por 4 a 5 pétalos fusionados con 8 a 10 estambres con anteras aristadas o no, tiene ovario ínfero de 4 a 10 lóculos. El número de yemas de flor que puede desarrollarse en una rama de un arbusto del grupo “high bush” parece estar relacionado con el grosor de la rama, con el cultivar, así como por la influencia de varios reguladores de crecimiento (Carhuaricra, 2012).

**Fruto.** - Es una baya casi esférica, la cual puede tener un tamaño de 0.7 a 1.5 cm de diámetro, el tamaño va a variar de acuerdo a la especie. Puede estar entre 0.5 a 4.0 g de peso. Los frutos pueden ser de color azul claro hasta negro, esto dependiendo de su estado de madurez, ya que en este proceso pasan por distintos grados de color. Los primeros frutos maduros regularmente son mayores que los que se cosechan al final de la producción (Carhuaricra, 2012).

## **2.4 Principales enfermedades del arándano a nivel mundial**

Dentro de las enfermedades más reportadas en arándano se encuentran las siguientes:

*Alternaria* spp. (Usted, 2014), *Armillaria* spp. (Pellegrini et al., 2014), *Botryosphaeria* spp. (Choi, 2011), *Botrytis cinérea* (Saito et al., 2014), *Calonectria colhounii* (Sadowsky et al., 2011), *Colletotrichum acutatum* (Xu et al., 2013), *Colletotrichum gloeosporioides* (Xu et al., 2013), *Corynespora cassicola* (Zheng, 2015), *Monilinia vaccinii-corymbosi* (Florence and Pscheidt, 2017), *Pestalotiopsis* spp. (Gonzalez et al., 2012), *Phomopsis vaccinii* (Latorre et al., 2012), *Phytophthora cinnamomi* Rands (Lan et al., 2016), *Pucciniastrum vaccinii* (Babiker et al., 2018) y *Thekopsora minima* (Rebollar et al., 2011).

## **2.5 Principales enfermedades del cultivo a nivel nacional**

Han sido reportados patógenos atacando tejido foliar como *Thekopsora mínima* causando roya (Rebollar et al., 2011), mientras que los patógenos asociados a tizón de tallo son *Neofusicoccum parvum*, *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, *Pestalotiopsis photinae*, *Pestalotiopsis microspora* y como agente causal de la pudrición de la raíz y corona se encontró a *Phytophthora cinnamomi* (Rebollar et al., 2013) y otros patógenos identificados solo morfológicamente que se han asociado a pudrición del fruto son *Alternaria*, *Colletotrichum*, a manchas foliares *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Neofusicoccum*, *Pestalotiopsis*, *Phyllosticta*, *Stemphyllium*, para roya *Pucciniastrum*, atizonamiento y cáncer del tallo *Alternaria*, *Bipolaris*, *Colletotrichum*, *Curvularia*, *Neofusicoccum*, *Phomopsis*, *Pestalotiopsis*, *Phoma* y tizón de yemas *Chaetomium*, *Phoma* (Mondragón et al., 2012).

## **2.6 Enfermedades de importancia en arándano**

### **2.6.1 Tizón de tallo y marchitez de puntas**

Los síntomas asociados a esta enfermedad son marchitamiento en las ramas y las puntas, el tejido leñoso infectado se torna de un color marrón, los patógenos invaden la xilema, que al cortar se observa coloración marrón en forma de “V” dando como resultado la mortalidad de plantas enteras, las hojas muertas tienen un color marrón y permanecen en los tallos (Xu et al., 2015; Maharachchikumbura et al., 2014). La

enfermedad afecta gravemente el crecimiento de las plantas de arándano, la calidad de la fruta y productividad, con daños a los cultivos que oscilan entre el 15 y el 25% (Zhao et al., 2019), dentro de los agentes causales de esta enfermedad se encuentran *Pestalotiopsis* spp y *Lasiodiplodia* spp (Zhao et al., 2019; Xu et al., 2015; Maharachchikumbura et al., 2014). La marchitez en las puntas superiores, se observan de color café claro a marrón oscuro, el tejido termina necrosado, este síntoma ha sido asociado al género *Pestalotiopsis* (Ren et al., 2021 y Espinoza et al., 2008).

### **2.6.2 Muerte regresiva**

Los síntomas de esta enfermedad son canchales de color marrón rojizo y muerte de estos de forma descendente que se observa como necrosis en el tallo que afectan de uno a tres tallos de las plantas enfermas. Los agentes causales asociados a estos síntomas son: *Lasiodiplodia* spp, *Neofusicoccum* spp y *Pestalotiopsis* spp (Castillo et al., 2013; Zhao et al., 2019, Hilario et al., 2020).

### **2.6.3 Manchas foliares**

Las manchas foliares que afectan el follaje del arándano son la roya del arándano que provoca síntomas en el haz de las hojas que aparecen como pequeñas manchas amarillas, luego se vuelven necróticas y finalmente cubren gran parte de las hojas, en el envés aparecen pequeñas manchas marrones con soros en polvo con uredinios llenos de urediniosporas de 2 a 10 mm de diámetro de color naranja, los patógenos asociados son *Thekopsora minima*, *Pucciniastrum* spp y *Naohidemyces* spp (Zheng et al., 2017). El arándano también es afectado por manchas circulares de forma circular a irregular, que van desde los 0.2 a 1.5 cm de diámetro. El síntoma inicia generalmente con pequeños puntos rojos que se vuelven marrón rojizo. En infecciones altas cuando las manchas cubren el 50% del área foliar las hojas mueren y caen, el patógeno asociado a este tipo de manchas son *Corynespora* spp (Zheng et al., 2015). Otras manchas más pequeñas que afectan al arándano son aquellas manchas marrones de forma circular de 0.1 a 0.5 mm de diámetro, algunas de ellas se fusionan causando

lesiones más grandes con bordes color rojo a café oscuro cuyo agente causal es *Alternaria* spp (Woudenberg et al., 2015).

#### **2.6.4 Amarillamiento y secamiento del arándano**

Las enfermedades que afectan la raíz en arándano son pudriciones de corona y raíz que toma una tonalidad marrón a naranja, que, con el paso del tiempo, provocan marchitez generalizada reduciendo de esta forma la productividad (Liu et al., 2014), los síntomas también incluyen quemaduras de hojas alrededor de los márgenes y decoloración marrón de las coronas de las plantas (Moya, 2019). El patógeno asociado a estas sintomatologías es *Fusarium* spp (Pérez et al., 2011).

#### **2.6.5 Pudrición de raíz**

La pudrición de raíz en arándano se manifiesta como reducción de raíces, raíces necróticas, síntomas de clorosis, retraso en el crecimiento y plantas atrofiadas que causan la muerte de la planta. Causada principalmente por el oomiceto *Phytophthora cinnamomi* (Shands et al., 2016) y por *Pestalotiopsis* spp (Xue et al., 2018).

### **2.7 Agentes causales de enfermedades del arándano**

#### **2.7.1 Tizón de tallo, *Pestalotiopsis* spp.**

El primer contacto de este patógeno en la planta ocurre en el sitio donde se produce la infección, por medio de conidios o esporas fragmentadas. El inóculo puede sobrevivir en condiciones climáticas adversas y causar infecciones primarias. El inóculo secundario que produce el tejido enfermo aumenta la severidad de la enfermedad. La fuente de inóculo pueden ser especies silvestres, flores, restos de cultivos y herramienta contaminada, se transmite mediante salpicaduras de gotas de agua y por el aire, en general las especies permanecen latentes hasta que la planta esté estresada y en ese momento causa la infección (Maharachchikumbura et al., 2011). La temperatura óptima de desarrollo es de 18 a 25 °C. Debido a que se

dispersan fácilmente en el aire o por salpicaduras de agua, el saneamiento y el manejo de enfermedades son fundamentales (Aguilar et al., 2020). En México no se ha autorizado algún producto químico para la erradicación de este patógeno, sin embargo, se ha reportado a que *P. clavispora* es muy sensible al fludioxonil y piraclostrobin con una concentración efectiva media, por otra parte, también se empiezan estudios sobre feoforburo de sodio y su acción contra *Pestalotiopsis neglecta* (Espinoza et al., 2008; Jing et al., 2019).

### **2.7.2 Muerte regresiva, *Lasiodiplodia* spp.**

Las infecciones suelen iniciar en las ramas, el patógeno se ve favorecido por alta humedad relativa, lluvias y un rango amplio de temperaturas que va desde 5 hasta 35 °C, así como por plantas en condiciones de estrés. En los tallos infectados aparecen cuerpos fructíferos negros. Los hongos fácilmente ingresan a la planta a través de heridas incluyendo las provocadas por herbicidas, heridas de poda y daños por insectos. También pueden entrar por aberturas naturales como grietas de crecimiento, hojas, cicatrices, lenticelas y contacto de raíz a raíz (Simpson, 2021). Es recomendable evitar actividades que puedan estresar o dañar las plantas, asegurando un riego adecuado, practicar estrictas medidas de higiene en el huerto. El mejor control se obtiene podando partes de plantas infectadas de 15 a 20 cm de distancia del tejido dañado y sacarlas del huerto (Simpson, 2021).

### **2.7.3 Muerte regresiva, *Neofussicoccum* spp.**

Forma picnidios en la madera enferma y en los restos de poda de arándanos, liberan conidios durante los períodos de lluvia y/o en condiciones de alta humedad relativa. El alto estrés hídrico mejora la formación de cancro y colonización por especies de la familia Botryosphaeriaceae, su temperatura óptima de crecimiento es de 25 a 35 °C (Latorre et al., 2012). Para este patógeno no hay productos químicos autorizados, sin embargo, en experimentos realizados in vitro por Latorre et al. (2013) el micelio de *N. parvum* fue muy sensible a benomil, tebuconazol e iprodiona, en las pruebas con

productos biológicos fueron utilizados extracto de cítricos, *Bacillus subtilis* QST713 y *Trichoderma* spp. los cuales resultaron ser ineficaces al permitir el crecimiento del micelio.

#### **2.7.4 Mancha foliar, *Corynespora* spp.**

Los conidios pueden sobrevivir en el invierno en restos del cultivo infectados. La humedad relativa de 90% continua de 16 a 44 h garantiza la esporulación y la gravedad de la enfermedad se correlacionó positivamente con temperaturas de 25 - 30 °C (Mckenzie et al., 2018; Rondon y Lawrence 2021).

Se recomienda una exploración cuidadosa de los primeros síntomas de la enfermedad, limitar los períodos de humedad de las hojas y alta humedad dentro del dosel de arándanos, esto puede ayudar a reducir la severidad (Douglas, 2019). Se deben retirar restos de plantas infectadas (Simpson, 2021). Actualmente no hay fungicidas autorizados para control de este patógeno en arándano en México, pero se ha estudiado el efecto de fluxapiroxad y protioconazol con una reducción de 45 a 55% de control en campo de las manchas causadas por *Corynespora* en soya, también se detectó una gran reducción de la sensibilidad a los benzimidazoles. Por ello, es necesario realizar más estudios al respecto (Teramoto et al., 2017).

#### **2.7.5 Mancha foliar, *Alternaria* spp.**

La diseminación de las esporas se produce por el viento, el agua, las herramientas y los animales. El hongo puede sobrevivir en malezas susceptibles o cultivos perennes. Los conidióforos de la mayoría de las especies de *Alternaria* producen esporas asexuales. Una humedad relativa del 91.5% dará como resultado la producción de gran número de esporas maduras en 24 h (Mamgain et al., 2013). Las prácticas de manejo recomendadas son retirar restos de plantas infectadas, mientras que el control químico es con fenbuconazol (Simpson, 2021; Aneberries, 2020).

### **2.7.6 Amarillamiento y secamiento del arándano, *Fusarium* spp.**

Este patógeno es transmitido por el suelo, ingresa a la planta a través de las raíces y luego se propaga por toda la planta por el sistema vascular y permanece en suelos infestados hasta por diez años. Las temperaturas del suelo y del aire de 28 °C son óptimas para su desarrollo. Los suelos demasiado cálidos (34 °C) o demasiado fríos (17-20 °C) retrasan el desarrollo de la marchitez provocada por *Fusarium*. Si la temperatura del suelo es óptima, pero la temperatura del aire es inferior a la óptima, el patógeno se extenderá a las partes inferiores del tallo, pero las plantas no mostrarán síntomas externos. Los niveles de nutrientes que influyen en su desarrollo son bajo contenido de nitrógeno y fósforo y alto contenido de potasio, bajo pH del suelo. La virulencia del patógeno aumenta con micronutrientes, fósforo y nitrógeno amónico y disminuye con el nitrógeno nitrato (Wong, 2003). El control biológico recomendado es utilizando *Trichoderma Harzianum* y *Bacillus amyloliquefaciens* cepa MBI600, mientras que el control químico recomendado es triflumizole (Aneberries, 2020 y Acosta et al., 2018).

### **2.7.7 Pudrición de raíz, *Phytophthora* spp.**

Las condiciones óptimas para promover el desarrollo de la enfermedad son abundante humedad y temperaturas entre 20 y 32 °C. Las raíces jóvenes son especialmente susceptibles a la infección. La forma de prevenir una infección de este patógeno es evitar regar en exceso y plantar en sitios con mal drenaje o mejorar el drenaje antes de plantar (Simpson, 2021). El control químico autorizado para este patógeno es fosetil-aluminio y sulfato de cobre (Aneberries, 2020).

## **2.8 Sustratos de cultivo**

Un sustrato es un material sólido simple o mezcla de materiales simples, de origen natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que se utiliza para producir plantas o cultivos en contenedores, donde cumple funciones de soporte y anclaje del sistema

radicular, de aireación y de retención y aporte de agua, pudiendo o no intervenir en el proceso de nutrición mineral de las plantas (Urrestarazu, 2004).

Cuando la solución drenada no se reutiliza y se permite la infiltración en el sitio o se conduce fuera del invernadero, al sistema hidropónico se le conoce como abierto; por el contrario, si se recoge para volverse a usar en el cultivo, previa esterilización y ajuste de pH, CE y concentración de nutrimentos, se le llama sistema cerrado (Miranda et al., 2014).

La primera etapa del manejo de un sustrato en el cultivo sin suelo es su caracterización con objeto de conocer sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Las propiedades de los materiales son factores que determinan el manejo posterior del sustrato (Abad et al., 2005).

### **2.12.1 Importancia de sustratos de cultivo**

El uso de sustratos de cultivo tiene como finalidad la obtención de mayor rendimiento y mayor eficacia en el desarrollo de cultivos. Muchos sustratos son sometidos a diferentes métodos de esterilización para garantizar un buen rendimiento y alta calidad en la cosecha (Grunert et al., 2016). Sin embargo, esta práctica elimina tanto microorganismos nocivos como benéficos para la planta. Finalmente, esto evita que la comunidad microbiana en el sustrato no encuentre un equilibrio y estabilidad adecuados; de esta forma los sistemas de cultivo sin suelo corren el riesgo de un ataque eficaz de patógenos (Grunert et al., 2016). Por ello, es de suma importancia mantener una alta biodiversidad en el sistema de cultivo porque dicha comunidad cumple con funciones específicas como crear un impacto positivo en la respiración de microorganismos, la producción de biomasa microbiana y el almacenamiento de nutrientes en las plantas (Jacoby et al., 2017).

## 2.12.2 Preparación del sustrato

Es necesario tener en cuenta que un cultivo puede dar resultados distintos según el material, tamaño y forma de partícula, forma o tamaño del contenedor, especie vegetal, técnica de riego, sistema de fertilización, duración del cultivo y condiciones climáticas. El mejor sustrato será aquel que proporcione la máxima cantidad de agua, el mayor volumen de aire, los elementos nutritivos necesarios, el anclaje adecuado para las raíces y que, además no contenga ningún componente que frene el crecimiento de la planta (Banitalebi et al., 2019).

Los niveles considerados como óptimos para las propiedades físicas de un sustrato se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Niveles óptimos de propiedades físicas en sustratos.

Característica	Nivel óptimo
Tamaño de partícula (mm)	0.25-6
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	< 0.4
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	1.45-2.65
Espacio poroso total (% en volumen)	> 85
Retención de agua (% en volumen) a 10 cm	55-70
Retención de agua (% en volumen) a 50 cm	30-40
Retención de agua (% en volumen) a 100 cm	25-30
Capacidad de aireación (% en volumen)	15-30
Agua fácilmente disponible (% en volumen)	20-30
Agua de reserva (% en volumen)	04-10
Agua total disponible (% en volumen)	25-40
Materia orgánica (% en volumen)	>80

Abad et al. 1992; Ansorena, 1994; Blok et al. 2008

Las propiedades físicas de los sustratos son de primera importancia ya que una vez que el sustrato esté en el contenedor y la planta esté creciendo en él, no es posible modificar las características físicas básicas de dicho sustrato. En contraste, las características químicas sí pueden ser modificadas una vez establecido el cultivo (Abad et al., 2004).

## **2.9 Clasificación de sustratos**

Urrestarazu (2004) señala que los sustratos se clasifican desde el punto de vista de su uso hortícola de acuerdo a su origen en orgánicos e inorgánicos.

### **2.9.1 Materiales inorgánicos**

Son aquellos materiales que no sufren descomposición biológica alguna. Se pueden encontrar de dos tipos, los materiales de origen natural sin ser alterados, y otros que son materiales que deben ser alterados para su mejorar su manejo. Los materiales inorgánicos se obtienen a partir de rocas o minerales de diversos orígenes como ígneo, metamórfico, sedimentario y suelos naturales. Algunos de estos materiales son residuos de actividades industriales o algunos son resultado de procesos particulares para su obtención como la perlita y la vermiculita (Torres et al., 2017).

### **2.9.2 Materiales orgánicos**

Son materiales de origen natural que generalmente están expuestos a la descomposición biológica y se utilizan como sustratos después estar sujetos a una serie de procesos biológicos de transformación artificial como compostaje natural o artificial, como en el caso de la turba o la vermicomposta (Galindo et al., 2014), otros materiales ampliamente utilizados son aquellos subproductos industriales como la fibra de coco, paja y bagazos (Gayosso et al., 2018).

## **2.10 Materiales más utilizados como sustratos en México**

Existe una gran diversidad de materiales utilizados como sustratos, principalmente se utilizan tierra de monte, turba, productos de madera como aserrín, desechos de jardinería, fibra de coco, estiércol, paja, cascarilla de arroz y de cacahuate, materiales inertes como tezontle, tepojal, basalto, perlita, arena, vermiculita y piedra pómez. Actualmente se buscan materiales locales que puedan conseguirse en altos volúmenes, que tengan un bajo costo y de preferencia que el proceso para su obtención tenga bajo impacto ambiental (Urrestarazu, 2013; Valenzuela et al., 2014;

Cruz et al., 2016). Los sustratos más utilizados en arándano son tezontle, fibra de coco y turba (Salgado et al., 2018; Zárate et al., 2016; Miranda, 2018).

### **2.10.1 Turba**

La turba parcialmente descompuesta se ha utilizado históricamente para la producción de plantas cultivadas en contenedores. La alta capacidad de retención de agua, la alta capacidad de intercambio iónico y su resistencia a la descomposición hacen que sea una opción ideal para su uso en cultivos sin suelo. Tiene un pH naturalmente bajo (3.5 - 4.5) y, por lo tanto, a menudo se considera un buen sustrato para plantas ácidas como el arándano arbustivo (Kingston et al., 2017).

Existen diferentes tipos y por su grado de descomposición se encuentran: la turba rubia y la negra. Las rubias tienen un mayor contenido en materia orgánica y están menos descompuestas, mientras que las negras están más mineralizadas teniendo un menor contenido en materia orgánica (Armijo et al., 2018).

En México éste material es importado de Canadá principalmente y la turba rubia es la que más se emplea en el país. La turba se utiliza comúnmente para la propagación de plantas y en sistemas de cultivo hidropónico (Van Gerrewey et al., 2020). Este sustrato tiene densidad aparente de 0.06 a 0.4 g cm<sup>-3</sup> (Maucieri et al., 2019), espacio poroso de 95 a 97%, capacidad de aireación de 7.6 a 29% (Fernández et al., 1998), capacidad de retención de agua de 55 a 82%.

Se ha demostrado que la turba proporciona un mejor suministro de nutrientes para los arbustos de arándanos en comparación con el suelo mineral, esto asegura un mejor crecimiento y un mayor rendimiento de arbustos de arándanos (Tasa et al., 2012).

### **2.10.2 Fibra de coco**

El polvo de coco se considera un material alternativo a la turba, entre sus principales ventajas destacan su amplia disponibilidad en México, adecuadas propiedades físicas y químicas (Torres et al., 2017).

El polvo de coco tiene muchas ventajas, sin embargo, se requiere evaluar el polvo de coco de México debido a que sus propiedades físicas y químicas pueden variar según el país de origen; también se ha demostrado que existen similitudes en las propiedades del polvo de coco que es obtenido en el mismo continente (Abad et al., 2005). Por ejemplo, el polvo de coco originario de la India, Sri Lanka y Tailandia, está compuesto principalmente de los tejidos de la médula del mesocarpio, mientras que el originario de Costa Rica, Costa de Marfil y México, contiene más fibra, obteniendo un diámetro de partículas mayor a 1 mm, es más alta que la de los países asiáticos mencionados. El cambio en la proporción de partículas de diferente tamaño afecta las propiedades físicas del polvo de coco, ya que ésta se asocia a una disminución en el agua más fácilmente disponible y una disminución en la capacidad de retención de humedad, aunque el contenido de aire aumenta (Abad et al., 2005). También se reportan datos de alta variabilidad en el polvo de coco originario de Sri Lanka (Vargas et al., 2008).

### **2.10.3 Tepojal**

El tepojal, llamado también tepezil, es un componente inorgánico al igual que el tezontle, su origen está ligado también a las erupciones volcánicas, existen dos sitios de acumulación de este material en la región central, uno ubicado en Calimaya, Estado de México, en las cercanías del Nevado de Toluca, y otro localizado en Perote, Veracruz, cerca del Volcán Pico de Orizaba, además de estos sitios en la mayoría de estados hay minas que extraen este tipo de materiales (SGM, 2020). La disponibilidad del tepojal a largo plazo es incierta, ya que las minas de Calimaya están próximas a agotarse y la explotación en la mina de Perote es muy intensa, debido a la gran demanda de este material por parte de los fabricantes de block ligero para la construcción; es más ligero y físicamente más inestable que el tezontle (Osuna et al., 2011).

#### **2.10.4 Tezontle**

Este material es un derivado de roca volcánica que en la producción hortícola es ampliamente utilizada por las características que posee (Rodríguez et al., 2013). La explotación de este material principalmente se da por la industria de la construcción, sin embargo, la agricultura comienza a cobrar importancia en la extracción de estos materiales (SCyT, 2010). Es un material considerado inerte, con valores de pH neutros, baja CIC, buena aireación, su capacidad de retención de humedad depende del diámetro de la partícula y tiene alta estabilidad física (Trejo et al., 2013).

### **2.11 Características físicas de los sustratos**

#### **2.11.1 Densidad aparente**

La densidad aparente es la masa seca contenida en 1 cm<sup>3</sup> de medio de cultivo y de ésta dependerá el volumen del contenedor a utilizar (Cruz et al., 2013). La densidad aparente recomendada para el cultivo de plantas en contenedor en invernaderos es  $\leq 0.40 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  (Abad et al., 1992; Abad y Noguera, 2000), mientras que Quintero et al., (2011) indican 0.50 a 0.75 g·cm<sup>-3</sup>. De la densidad del sustrato depende la porosidad y esta característica afecta directamente la velocidad de filtración del agua y retención de humedad, es una de las características físicas más significativa para la horticultura ornamental en contenedor (Mascarini et al., 2012).

#### **2.11.2 Porosidad**

La porosidad del sustrato es medida por la relación entre el volumen que ocupan los poros y el volumen total, expresada normalmente en porcentaje. Los poros incluyen los espacios entre las partículas y sus agregados, y los huecos formados entre las raíces (Ansorena, 1994 y Burés, 1997), se recomienda que la porosidad total sea más de 85% del volumen. La mezcla de materiales orgánicos con inorgánicos, con partículas mayores a 1 mm respecto al orgánico, favorecen la formación de poros con

empaquetadura compleja que, favorecen la retención de humedad (Gutiérrez et al., 2011; Morales y Casanova, 2015).

### **2.11.3 Capacidad de aireación**

Esta característica es la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después de haberse saturado con agua y permitido el libre drenaje (Abad et al., 2004). La distribución de partículas del sustrato de 0.25 a 2.5 mm es adecuada para cultivos hortícolas (Quintero et al., 2011). Es importante que no todos los poros estén cubiertos por agua, para permitir la oxigenación de las raíces y el intercambio de gases entre la atmósfera y el sustrato; para lo cual se sugiere 10 a 30 % del volumen del sustrato con aire (Bunt, 1988; Abad et al., 2004; Morales et al., 2015).

### **2.11.4 Curva de retención de humedad**

**Retención de agua fácilmente disponible (AFD).** Es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado y dejado drenar a 10 cm de tensión matricial (1 kPa), y el volumen de agua que permanece en dicho sustrato a una succión de 50 cm de tensión matricial (5 kPa) (Abad et al., 1993). El valor óptimo de AFD es entre 20 y 30% del volumen del sustrato (Abad et al., 2004; Blok et al., 2008).

**Agua de reserva (AR).** Se refiere a la cantidad de agua en volumen, que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de tensión matricial (5-10 kPa). El nivel óptimo de AR esta entre 4 y 10% en volumen. El agua contenida a tensiones mayores a 100 cm de carga de agua es muy poco accesible para el cultivo (Abad et al., 2004; Blok et al., 2008).

**Agua total disponible (ATD).** Es la suma del agua de reserva y el agua fácilmente disponible, es decir, el volumen total de agua contenido a tensiones desde 10 a 100 cm de tensión matricial (De Boodt et al., 1974; Blok et al., 2008).

**Agua difícilmente disponible (ADD).** Es el volumen de agua retenida por el sustrato tras ser sometido a una tensión  $\geq 100$  cm de columna de agua, equivalente a 10 kPa. En esta condición la planta entra rápidamente en estrés hídrico, ya que el volumen de agua en el sustrato es muy reducido (Baixauli y Aguilar, 2002; Abad et al., 2004).

## **2.12 Características químicas de los sustratos**

### **2.12.3 Conductividad eléctrica**

En concreto la conductividad eléctrica (CE) expresa la capacidad de la solución para conducir la corriente eléctrica (Corwin & Yemoto, 2020), pero se utiliza para medir indirectamente la concentración de sales que se encuentran disueltas en el agua y su valor se expresa en  $\text{dS m}^{-1}$ . La importancia de conocer la CE del agua de riego o de una solución nutritiva es detectar niveles altos de concentración de sales que resultan fitotóxicas para las plantas (Rodríguez y Rodríguez, 2018) o para determinar su efecto sobre la capacidad de absorción de agua por las plantas según la energía requerida (Waller and Yitayew, 2016).

Las recomendaciones de soluciones nutritivas para arándano sugieren una CE baja, entre  $0.45$  y  $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Gallegos et al., 2018). Por otra parte, Bolaños-Alcántara et al. (2019) determinaron que la CE óptima de la solución nutritiva para el arándano esta entre  $1 - 1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , por la sensibilidad que tiene a la salinidad del sustrato; se ha demostrado que una CE mayor de  $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  daña el sistema radicular, hojas y la producción de frutos (Voogt et al., 2012; Frías et al., 2020).

### **2.12.4 pH**

Es el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno. El pH del suelo es uno de los parámetros más utilizados en el análisis de suelos por reflejar características fundamentales del suelo (Rodríguez y Rodríguez, 2018). El crecimiento y desarrollo de las plantas se verá altamente afectado en condiciones de acidez o alcalinidad extremos. Los procesos afectados en la planta causados por pH extremo son:

asimilabilidad de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica (Urrestarazu, 2004).

Se ha comprobado que con valores de pH de 5.0 a 6.5, la mayoría de los nutrientes mantienen su máximo nivel de disponibilidad. Por debajo de pH 5.0 pueden presentarse deficiencias de N, P, K, Ca y Mg, mientras que por encima de pH 6.5 disminuye la disponibilidad de Fe, P, Mn, B, Zn y Cu. Los óxidos metálicos (de Fe, Mn, Cu, Zn, etc.) se hacen más solubles al bajar el pH (por debajo de 5.0), pudiendo llegar a resultar fitotóxicos para la planta (Urrestarazu, 2004).

En ocasiones será necesario ajustar el pH. En los sustratos ácidos como la turba se requerirá la adición de cal para provocar incremento en el pH. Por otra parte, en sustratos básicos con pH alcalino como el de corteza de pino pueden reducirse adicionando azufre. Las cantidades de cal o azufre a añadir a un sustrato dependerán de su pH original y de su capacidad de intercambio catiónico, siendo las necesidades de enmienda tanto mayor cuanto mayor es la capacidad de intercambio catiónico del material (Urrestarazu, 2004).

En cultivo, el pH del suelo debe ser de 4.5 a 5.5, suelos con pH alto o "calizos" requieren aplicaciones de ácidos para disminuir el pH (Gallegos et al., 2018).

Los arbustos de la familia Ericáceae generalmente son plantas con requerimientos nutricionales relativamente más bajos y hábito de crecimiento más lento, requieren pH ácido con valores óptimos de 4.5-5 (Osorio et al., 2019), se ha comprobado que prefiere el amonio-N ( $\text{NH}_4^+$ ) sobre el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (Zhao & Xiao, 2009, Fang et al., 2020), sus requerimientos nutrimentales se mencionan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Propuesta de soluciones nutritivas para arándano durante las diferentes etapas fenológicas modificada a mg·L<sup>-1</sup> (Bolaños et al., 2019).

<b>Etapas fenológicas</b>	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>B</b>
<b>V.</b>	63	21	90.09	27.4	21.84	38.75	2	1	0.15	0.1	0.6
<b>V. - I.F.</b>	70.56	23.52	100.6	30.8	24.48	38.75	2	1	0.15	0.1	0.6
<b>I.F. - I.Fr</b>	78.68	26.18	112.3	34.4	27.36	38.75	2	1	0.15	0.1	0.6
<b>I.Fr. - Fr.</b>	72.52	42.56	139.2	42.6	33.84	38.75	2	1	0.15	0.1	0.6
<b>P.</b>											
<b>Fr. P.</b>	63	63	172	52.6	41.52	38.75	2	1	0.15	0.1	0.6

V= Vegetativa, I.F.= Inicio Floración, I. Fr= Inicio Fructificación y Fr. P.= Fructificación Plena

### 2.13 Composición del sustrato y su papel en el desarrollo de patógenos

Después del inicio de un cultivo sin suelo, una microflora coloniza rápidamente el sustrato y la rizósfera de las plantas cultivadas. La densidad y diversidad de esta microflora patógena o benéfica se ven afectadas por el tipo de sustrato (orgánico o inorgánico), los nutrientes en las soluciones, la edad y cultivo de la especie vegetal (Grunert et al., 2016).

En relación con el tipo de sustratos se ha descubierto que los sustratos inorgánicos son colonizados principalmente por bacterias, mientras que los sustratos orgánicos son colonizados por hongos. Un ejemplo de este fenómeno es *Fusarium* spp. que colonizaba preferentemente las raíces cultivadas en un sistema de fibra de coco en comparación con un sistema de lana de roca (Vallance et al., 2011).

La supresión del sustrato también está relacionada con la capacidad de su microflora para degradar compuestos orgánicos. Wallace et al. (2011) caracterizaron las comunidades microbianas asociadas con tres sustratos con diferentes niveles de supresión del marchitamiento por *Fusarium*: turba (propicia para el marchitamiento), corcho (moderadamente supresor) y orujo de uva (muy supresor). Se obtuvo que la naturaleza y composición del medio de crecimiento vegetal determina las comunidades microbianas: en medios supresores, la microflora metaboliza compuestos menos

fácilmente biodegradables como ácidos carboxílicos, aminoácidos, aminas, compuestos fenólicos y polímeros; mientras que la microflora de la turba utiliza principalmente azúcares, esto sugiere que la microflora prosperará dependiendo de la composición del sustrato.

En el caso particular del cultivo de tomate se observó que bacterias, incluidas las *Pseudomonas* fluorescentes, fueron más altas en lana de roca que en sustratos orgánicos como turba y se observó lo contrario para hongos, actinomicetos y *Trichoderma* spp. Esto puede deberse a la presencia de compuestos orgánicos que se encuentran disponibles dentro de sustratos orgánicos que pueden modificar el equilibrio microbiano en los sustratos inhibiendo el crecimiento de otros por competencia (Vallance et al., 2011).

La población de microorganismos no depende únicamente del tipo de material del sustrato, por ejemplo, la lana de roca es más propicia para la pudrición de la raíz por *Pythium* y la pudrición de la corona en el cultivo de pepinos que el polvo de coco (orgánico), la piedra pómez y la perlita (inorgánicos). En un estudio en el que el sustrato fue infestado con *Pythium* a 4 cm por debajo del hoyo de plantación, la mayor incidencia de enfermedades ocurrió en la lana de roca y se asoció con un contenido de agua mucho mayor que en los otros tres. En la misma lana de roca cuando se realizó la inoculación de *Pythium* de 7 a 14 cm por debajo del hoyo de plantación disminuyó el porcentaje de plantas enfermas. Estos resultados indicaron que el contenido de agua juega un papel importante en el desarrollo de la pudrición de la raíz y de tallo y que el tipo de sustrato y la distancia entre el hoyo de plantación del sustrato y la distancia de infección del patógeno son herramientas importantes para disminuir las pérdidas de rendimiento (Vallance et al., 2011).

La principal fuente de energía para los microbios del suelo es la materia orgánica, por lo que la actividad metabólica de la comunidad microbiana está fuertemente relacionada con la cantidad y calidad de los sustratos orgánicos. Probablemente la fracción más biodisponible de materia orgánica sea el carbono orgánico disuelto

(DOC), se ha informado de un estrecho vínculo mecanicista entre el carbono orgánico disuelto y los microbios en el suelo (Kaiser & Kalbitz, 2012). El COD se origina a partir de la descomposición de los residuos orgánicos y los exudados de las raíces. Las plantas en crecimiento liberan una mezcla compleja de compuestos orgánicos que contienen aminoácidos, ácidos orgánicos, azúcares, vitaminas, enzimas y otras moléculas (Ahemad & Kibret, 2014 y Dennis et al., 2010). Estos compuestos pueden ser detectados por microbios y actuar como fuente de energía para el crecimiento o como señal para germinar. Los exudados de las raíces tienen dos impactos principales en los microbios del suelo: la actividad metabólica aumenta y la composición microbiana se modifica (Bais et al., 2006).

La turba es ampliamente utilizada como sustrato, sin embargo, este material orgánico es poco supresor contra patógenos transmitidos por el suelo como la marchitez y los fungicidas se utilizan de forma rutinaria para controlar esas enfermedades. En un estudio se evaluó la capacidad supresora de la turba y enmiendas de cinco mezclas de compost contra *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* y *Sclerotinia minor*; los resultados mostraron una disminución de la marchitez causado por *P. Ultimum*, *R. Solani* y *S. minor* en un 60%, de las otras mezclas y el compost derivado de estiércol animal se obtuvo mayor supresión de enfermedades (Pane et al., 2011).

En la revisión realizada por Noble (2011) sobre los efectos de las enmiendas de compost al suelo o arena sobre enfermedades causadas por patógenos que transmite el suelo se encontró que, de 79 experimentos realizados en contenedores, donde el suelo en general se modificó agregando  $\geq 20\%$  v/v de compost, 59 mostraron un efecto supresor y solo 6 mostraron un efecto promotor de enfermedades. En los experimentos donde se realizaron las enmiendas en suelo en el campo con compost, generalmente a  $\geq 15$  t/ha, la supresión de la enfermedad ocurrió en 45 de 59 experimentos y la promoción de la enfermedad en solo uno.

Las propiedades físico-químicas de los suelos, los factores bióticos y abióticos influyen en la salud del suelo (Chaparro et al., 2012). Los factores abióticos que explican el

control de algunas enfermedades son los factores abióticos como el contenido de arcilla, el aumento de pH o la liberación de compuestos volátiles después de la enmienda del compost, influyen directamente en el crecimiento y la propagación de patógenos, algunos factores bióticos son el antagonismo microbiano o la resistencia inducida de la planta pues la pérdida de supresividad después de la esterilización del compost se demostró con frecuencia en los experimentos (Noble, 2011; Hoper y Alabouvette, 1996).

Se investigó el potencial supresor de seis sustratos compostados, en comparación con un fungicida químico recomendado (carbendazim), contra las enfermedades foliares y transmitidas por el suelo en el frijol francés. Los composts (estiércol de corral, estiércol de aves, vermicompost, compost de hongos usados, *Lantana camara* y *Urtica* sp.) se aplicaron como enmienda del suelo y luego como aspersiones foliares de sus extractos fermentados. Hubo un alto nivel de supresión de la pudrición de la raíz (> 33%) en los tratamientos de estiércol de aves, *Lantana* y *Urtica*. Todos los tratamientos de compost mostraron una reducción moderada pero significativa (> 20%) en la severidad de la mancha angular de las hojas, pero ninguna se comparó a las aplicaciones químicas. Los diferentes tratamientos de compostaje ejercieron un efecto significativo sobre la población de *Trichoderma* spp. y pseudomonas fluorescentes en la rizósfera vegetal. La población más alta de estos antagonistas fue de los tratamientos con estiércol de aves y compost de *Urtica*, lo que indica que puede ser un factor importante que contribuya a la mayor reducción de la enfermedad observada en estos tratamientos. Todos los composts aumentaron el rendimiento con respecto al control con rendimientos máximos registrados en los tratamientos de estiércol de aves y *Urtica*. Los resultados sugieren que la aplicación de compost y extractos de compost derivados de estiércol de aves de corral y *Urtica* sp. tiene el potencial de proporcionar un control eficaz de enfermedades y mejorar el rendimiento del frijol en condiciones de campo (Joshi et al., 2009).

La utilización de enmiendas orgánicas es la propuesta más efectiva para disminuir la incidencia de enfermedades de las plantas causadas por patógenos del suelo, sin

embargo, el biochar parece ser una práctica prometedora. En la revisión de 61 estudios de casos experimentales, el efecto de la enmienda de biochar fue supresor en el 85%, no significativo en el 12% y sólo el 3% de los estudios informaron un aumento significativo de la incidencia de enfermedades. El biochar puede ser eficaz contra patógenos transmitidos por el aire (por ejemplo, *Botrytis cinerea* y mildiú) y transmitidos por el suelo (por ejemplo, *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp., *Rhizoctonia solani*). Se descubrió que el biochar de madera induce la resistencia sistémica de plantas de tomate y pimiento a dos hongos foliares (Harel et al., 2012).

Las enmiendas de biochar al suelo mejoran el rendimiento de las plantas. Se exploró la capacidad del biocarbón para inducir resistencia sistémica en plantas de fresa contra *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum acutatum* y *Podosphaera aphanis*. Las pruebas se llevaron a cabo en macetas con enmienda de biochar al 1 o 3% y se cuantificó la expresión de 5 genes relacionados con la defensa de las plantas obteniendo que la adición de biochar al medio de cultivo de las plantas de fresa suprimió las enfermedades causadas por los tres hongos, que tienen estrategias de infección muy diferentes. Esto sugiere que el biochar estimuló diversas vías de defensa general, como lo confirman los resultados del estudio qPCR de la expresión génica relacionada con la defensa (Harel et al., 2012).

Se han propuesto cinco mecanismos diferentes para explicar supresión de las enfermedades utilizando biochar: 1) inducción de resistencia sistémica en plantas hospedantes, (2) mayor abundancia y actividades de microbios beneficiosos, incluidos los hongos micorrízicos, (3) modificación de la calidad del suelo en términos de disponibilidad de nutrientes y condiciones abióticas tales como efecto de encalado, (4) directo efecto fungitóxico del biochar, (5) adsorción de alelopáticos, compuestos fitotóxicos que pueden dañar las raíces de las planta y así promover los ataques de patógenos. Los efectos secundarios potenciales de biochar son la posibilidad de absorber agroquímicos como herbicidas, insecticidas y fungicidas, reduciendo así su eficacia. Las enmiendas de biochar tienen excelente potencial, pero, hasta ahora, no

hay suficientes estudios disponibles para una adopción generalizada del biochar como enmienda del suelo en los sistemas agrícolas actuales (Bonanomi et al., 2015).

#### **2.14 Influencia de la esterilización de sustratos y el desarrollo de hongos en el suelo**

El marchitamiento por *Fusarium* es la principal limitación para la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.). La cepa Bs006 de *Bacillus velezensis* tiene un potencial antagonista contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *Physali* (Foph) (Moreno et al., 2019).

En Colombia se llevó a cabo un experimento en el cultivo de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) en macetas para determinar la eficacia de *Bacillus velezensis* sobre *Fusarium oxysporum* y la influencia de la esterilización del suelo en su control. Se obtuvo que la esterilización del suelo afectó negativamente la actividad de biocontrol de *B. velezensis* Bs006 contra *Fusarium*, ya que el desarrollo de la incidencia de la enfermedad expresada como el área bajo la curva de progreso de incidencia y severidad (AUDPC) fue significativamente mayor en plantas cultivadas en suelo estéril en comparación con el desarrollo de la enfermedad de las cultivadas en suelo no estéril. La reducción de la incidencia y el desarrollo de la gravedad de la enfermedad aplicando Bs006 a suelo no estéril fue de 80 y 85%, mientras que en suelo estéril la eficacia fue de 16 y 23% (Moreno et al., 2019). Por lo tanto, el suelo estéril puede proporcionar menos competencia por el crecimiento de *F. oxysporum* f. sp. *Physali* en la rizósfera y aumentar el contacto con las raíces del huésped (Moreno et al., 2019).

En relación al crecimiento de las plantas se comprobó que al esterilizar un suelo y agregar pequeñas cantidades de microbiota las plantas de maní crecieron más que aquellas plantas a las que solo se esterilizó su suelo pero no se agregó microbiota, esto mismo ocurrió en suelos no esterilizados, este hallazgo demuestra que algunos microorganismos del suelo mejoran la esporulación de los hongos, el crecimiento y la colonización de raíces micorrízicas que estimulan un mayor crecimiento de la planta, en el caso de suelos no esterilizado el crecimiento de las plantas fue reducido, lo cual

puede deberse a que hay menos nutrientes disponibles para los microbios autóctonos que pueden suprimir la micorrización (Al-Khaliel, 2010).

En un experimento realizado por Pane et al. (2011) donde evaluaron turba mezclada con diferentes compostas para comprobar su capacidad supresora contra patógenos causantes de marchitez, se constató que la esterilización disminuyó o eliminó la supresividad del 42.8% de las mezclas más supresoras.

La turba es ampliamente utilizada como sustrato, sin embargo, este material orgánico es poco supresor contra patógenos transmitidos por el suelo, como la marchitez y los fungicidas se utilizan de forma rutinaria para controlar esas enfermedades, en un estudio se evaluó la capacidad supresora de la turba y enmiendas de cinco mezclas de compost contra *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* y *Sclerotinia minor*, los resultados mostraron una disminución de la marchitez causado por *P. Ultimum*, *R. Solani* y *S. minor* en un 60% , de las otras mezclas y el compost derivado de estiércol animal se obtuvo mayor supresión de enfermedades (Pane et al., 2011). Lo anterior contradice lo reportado por Banuelos et al. (2013) con *Persea americana*, donde se evaluaron 8 hongos micorrízicos arbusculares en suelos estériles y no estériles. Los tratamientos de suelo estéril tuvieron un mayor crecimiento y la inoculación de HMA aumentó la altura, diámetro, peso fresco y seco de las hojas. Esos resultados obtenidos muestran una posible compatibilidad planta-HMA, así como la importancia de la esterilización del suelo antes de la inoculación de hongos micorrízicos.

## **2.15 Papel de los nutrientes en las enfermedades de cultivos**

Las enfermedades en las plantas son de los principales factores que limitan la producción agrícola, la mayoría de productores utilizan cantidades exorbitantes de productos químicos tóxicos para poder erradicar las enfermedades de las plantas, sin saber que con una nutrición adecuada pueden controlarse las enfermedades hasta cierto punto. La deficiencia o toxicidad de los nutrientes pueden afectar la susceptibilidad a las enfermedades a través de cambios metabólicos de las plantas,

de esta forma crean el ambiente favorable para el desarrollo de enfermedades (Badhuri et al., 2014).

De acuerdo al meta análisis realizado por Veresoglou et al. (2013), los resultados arrojaron que adiciones de P modifican la severidad de la enfermedad menos que la fertilización con N. Sin embargo, la adición simultánea de N y P causa los mayores aumentos en gravedad de la enfermedad de las plantas. N y P son los nutrientes que más limitan el crecimiento de las plantas, y este resultado sugiere que su disponibilidad limitada podría tener algún beneficio para las plantas y su resistencia a enfermedades. Por otra parte, aunque la fertilización con N aumentó más la gravedad de las enfermedades de las plantas inducidos por patógenos hemibiotróficos y biotróficos, hubo evidencia de que la fertilización con N también aumentó la gravedad de las enfermedades inducidas por patógenos fúngicos necrotróficos. Aunque la severidad de la enfermedad causada por patógenos necrotróficos tendió a aumentar después de la fertilización con N, el aumento de la gravedad de la enfermedad para los patógenos fúngicos (hemi) biotróficos fue significativamente mayor. Si bien para los necrótrofos puede resultar más difícil matar el tejido del huésped cuando los huéspedes están mejor nutridos, los biótrofos pueden beneficiarse de la mayor disponibilidad de compuestos orgánicos de nitrógeno de bajo peso molecular en sus huéspedes, así como de otras modificaciones fisiológicas en su crecimiento (Veresoglou et al., 2013).

En el primer contacto del patógeno por lo general carece de nutrientes, entonces el modo de asimilación de nutrientes del huésped es esencial para una infección exitosa. Por su parte, el huésped tiene la capacidad de reasignar sus nutrientes a respuestas de defensas o alejadas del sitio de infección. La aplicación de fertilizantes entonces puede cambiar el equilibrio a favor del hospedador o patógeno.

Otro hecho importante es que el efecto de los fertilizantes en el desarrollo del patógeno depende de su estilo de vida, si es necrotrófico, biotrófico o hemibiotrófico. En

patógenos necrotróficos la fertilización aumenta la severidad, pero no es un aumento significativo, en tanto para patógenos biotróficos y hemibiotróficos existió un aumento significativo en la severidad de la enfermedad (Veresoglou et al., 2013). Los estilos de vida de patógenos de importancia para arándano se mencionan en el Cuadro 3.

**Nitrógeno.** - Los efectos de N en el desarrollo de enfermedades se contradicen entre sí, y las causas reales de esta inconsistencia son poco conocidas, algunos de los factores que han sido estudiados son la forma de nutrición de N del hospedador, tipo de patógeno: parásitos obligados frente a parásitos facultativos, la etapa de desarrollo de la aplicación de N y forma de nitrógeno aplicado (Gupta et al., 2017). Las diferencias en informes entre los parásitos obligados y facultativos se deben principalmente a los requisitos de nutrición de estos parásitos. Los parásitos obligados requieren asimilados suministrados directamente de las células vivas. Por el contrario, los parásitos facultativos son semi-saprotitos, que prefieren el tejido senescente o que liberan toxinas para dañar o matar las células de la planta huésped (Gupta et al., 2017).

Cuadro 3. Estilo de vida de algunos patógenos

Patógeno	Estilo de vida
<i>Pestalotiopsis</i> spp.	Necrotrófico
<i>Neofusicoccum</i> spp.	Necrotrófico
<i>Lasiodiplodia</i> spp.	Hemibiotrófico
<i>Fusarium</i> spp.	Hemibiotrófico
<i>Alternaria</i> spp.	Necrotrófico
<i>Corynespora</i> spp..	Necrotrófico
<i>Phytophthora</i> spp	Hemibiotrófico

Delays et al. (2013); Wang et al. (2018); Perincherry et al. (2019); Rajarammohan et al. (2019); Lopez et al. (2018) y Jupe et al. (2013).

El estudio del efecto del nitrógeno en el desarrollo de parásitos obligados demuestra una mayor susceptibilidad de parásitos obligados a altas tasas de N debido a los diversos cambios anatómicos y bioquímicos junto con el aumento en el contenido de compuestos orgánicos nitrogenados de bajo peso molecular que se utilizan como sustratos para los parásitos; por otra parte, cuando la enfermedad es causada por

patógenos, por ejemplo, *Alternaria*, *Fusarium* y *Xanthomonas* spp., un alto suministro de N disminuye la gravedad de la infección (Gupta et al., 2017). Por otra parte, la aplicación de fertilizantes nitrogenados en forma de amonio, y la liberación de cationes de amonio limitan la absorción de Mg (Ochmian et al., 2019). El nitrógeno tiene efectos sobre el pH del medio del cultivo, la absorción de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) conduce a la acidificación de la rizósfera, mientras que en al aplicar nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) la absorción conduce a la alcalinización de la rizósfera en arándano y el pH alto de la rizósfera puede provocar deficiencias de nutrientes, retraso en el crecimiento y baja supervivencia (Imler et al., 2019).

**Fósforo.** - Es el segundo nutriente más comúnmente aplicado en la mayoría de los cultivos, su papel en la resistencia es variable y aparentemente inconsistente (Gupta et al., 2017). Sin embargo, algunos estudios indican que la aplicación de P puede aumentar la severidad de las enfermedades causadas por *Sclerotinia* en muchas plantas de jardín y carbón de bandera en trigo. La aplicación foliar de P puede inducir una protección local y sistémica contra el mildiú polvoroso en pepinos, rosas, uvas de vino, mango y nectarinas (Gupta et al., 2017), las aplicaciones foliares de fosfato ofrecen una resistencia local o sistémica eficaz contra algunos patógenos transportados por el aire, y esta resistencia se basa en la liberación de compuestos activos elicitores de las paredes celulares de las plantas. Se ha demostrado que la adición de fósforo al suelo enmendado con rastrojo resulta en una menor infección de raíz ocasionado por *Rhizoctonia* spp. en comparación con suelo sin fósforo o agregado de rastrojo solo; sin embargo, cuando se combinan fertilizantes fosfatados y restos de rastrojo, es muy probable que mejoren el potencial de desarrollo de la supresión de la pudrición de la raíz por *Rhizoctonia* en cultivos de cereales en suelos alcalinos y altamente calcáreos (Davey et al., 2021).

**Potasio.** - Dicho nutriente en cantidades óptimas disminuye la susceptibilidad de las plantas hospedantes. Sin embargo, la adición simultánea de N y P parece aumentar la gravedad de las enfermedades de las plantas. Una deficiencia de N y P es perjudicial porque son los nutrientes que limitan con mayor frecuencia el crecimiento de las

plantas, y este resultado sugiere que su disponibilidad limitada podría tener algún beneficio para las plantas sólo en términos de resistencia a enfermedades (Veresoglou et al., 2013).

La planta necesita potasio para diversas funciones bioquímicas y fisiológicas vitales (Wang et al., 2013). Los síntomas de deficiencia de potasio, como paredes celulares delgadas, tallos y tallos debilitados, raíces más pequeñas y más cortas, acumulación de azúcar en las hojas y acumulación de N no utilizado fomentan la infección de la enfermedad (Gupta et al., 2017).

La alta susceptibilidad de las plantas deficientes en K a diversas enfermedades parasitarias está directamente relacionada con estas funciones metabólicas. En plantas deficientes, la síntesis de compuestos de alto peso molecular se ve gravemente afectada y los de bajo peso molecular se acumulan compuestos orgánicos, indispensables para la alimentación de patógenos e insectos (Zörb, et al., 2014).

Una adecuada fertilización de potasio puede reducir la intensidad de varias enfermedades infecciosas de parásitos obligados y facultativos. Se ha observado con frecuencia que el K reduce la gravedad de diversas enfermedades como el tizón bacteriano de la hoja, el tizón de la vaina, la pudrición del tallo, la roya negra en el trigo, el tizón bacteriano de la hoja en el algodón, la mancha foliar por *Cercospora* en yuca, mancha de *Cercospora* en el frijol mungo y pudrición de plántulas causada por *Rhizoctonia solani* (Dordas, 2008). La insuficiencia de K provoca un color pálido de las hojas que resulta en grietas, fisuras y lesiones que se desarrollan en la deficiencia de K en la superficie de las hojas y frutos proporcionan un fácil acceso, especialmente para los parásitos facultativos (Gupta et al., 2017).

**Calcio.** - Es otro nutriente importante que afecta la susceptibilidad a las enfermedades de dos maneras. En primer lugar, es importante para la estabilidad y la función de las membranas de las plantas y cuando hay deficiencia de Ca, hay una fuga de

compuestos de bajo peso molecular como azúcares y aminoácidos, desde el citoplasma al apoplasto, que estimulan la infección por los patógenos (Spann y Schumann, 2010). En segundo lugar, es un componente importante de la estructura de la pared celular, ya que se requieren poligalacturonatos de calcio en la laminilla media para la estabilidad de la pared celular. Cuando la concentración de Ca disminuye, aumenta la susceptibilidad a los hongos que invaden preferentemente el xilema y disuelve las paredes celulares de los vasos conductores, lo que conduce a síntomas de marchitamiento. Los tejidos vegetales bajos en Ca también son mucho más susceptibles que los tejidos con niveles normales de Ca a las enfermedades parasitarias durante el almacenamiento. El tratamiento de las frutas con Ca antes del almacenamiento es un procedimiento eficaz para prevenir pérdidas tanto por trastornos fisiológicos como por pudrición de frutos (Gupta et al., 2017). Se necesita una cantidad adecuada de Ca del suelo para proteger las vainas de maní de las infecciones *Rhizoctonia* y *Pythium* y la aplicación de Ca al suelo elimina la aparición de la enfermedad y resistencia contra *Pythium*, *Sclerotinia*, *Botrytis* y *Fusarium* (Madani et al., 2014).

**Magnesio.** - El Mg constituye el núcleo de la molécula de clorofila, pigmento de las hojas que se necesita para realizar la fotosíntesis en presencia de la luz solar. La planta al ser atacada por patógenos aumenta su respiración, esta respuesta requiere energía de la fotosíntesis generada a través del Mg y posterior movimiento de azúcares. Una deficiencia de Mg durante el crecimiento reduce la integridad estructural de la laminilla media y la producción de energía necesaria para las funciones de defensa y la inactivación de metabolitos de los patógenos. Las plantas tienen defensas físicas y químicas preformadas y defensas activas producidas después de la penetración, ambas requieren energía y sustratos de la fotosíntesis que involucran al Mg como componente de la molécula de clorofila o como cofactor de los diversos procesos fisiológicos. Por lo tanto, la producción de respuestas físicas y químicas a la infección requiere energía de la fotosíntesis que depende de una suficiencia de Mg (Huber y Jones, 2013).

Las plantas que crecen en suelos ácidos como el arándano tienden a ser deficientes en Mg, Ca, Mo y P debido a la absorción deficiente de estos iones y, por lo tanto, son más susceptibles a enfermedades comunes en suelos de pH bajo como el marchitamiento por *Fusarium* y pudriciones blandas causadas por bacterias (Huber et al., 2013).

**Zinc.** - Es un micronutriente esencial para todos los organismos vivos, en las plantas juegan un papel clave en el crecimiento, desarrollo y defensa contra patógenos (Cabot et al., 2019).

Las funciones del Zn en la protección de las plantas tienen especial énfasis en las superóxido dismutasas (SOD) que son una importante defensa antioxidante en la mayoría de las células expuestas al oxígeno causadas por ataque de patógenos, esto le permite a la planta superar el estrés oxidativo (Fones y Preston, 2012) y las proteínas con dedos de zinc que regulan las respuestas de las plantas a las condiciones de estrés biótico, los dedos de zinc están presentes en las proteínas de resistencia vegetal (Gupta et al., 2012). La multifuncionalidad del Zn en todos los organismos vivos proporciona a este elemento funciones clave en el metabolismo, defensa y la virulencia, lo que convierte al Zn en una herramienta muy valiosa para comprender los mecanismos de interacciones planta-plaga-patógeno (Cabot et al., 2019). Por otra parte, el exceso de este nutriente provoca clorosis, inhibición del crecimiento de las raíces y morfología anormal de los pelos radiculares (Fukao et al., 2011), en esta condición también ocurren efectos de hiperacumulación, especialmente en especies de la familia brassicaceae (Balafrej et al., 2020).

**Hierro.** - La deficiencia de este micronutriente en arándano provoca clorosis, el uso de nitrógeno en forma de amonio ayuda a mantener un pH bajo y promover la absorción de hierro (Fulcher et al., 2015). La disponibilidad reducida de Fe puede reducir la severidad de la marchitez en el tomate causada por *Fusarium* sp. debido a la competencia por dicho nutriente (Gupta et al., 2017). Kieu et al. (2012) observaron que la gravedad de los síntomas, la aptitud bacteriana y la expresión de genes que

codifican la pectato liasa bacteriana de dos patógenos vegetales causantes de la pudrición blanda (*Dickeya dadantii* y *Botrytis cinerea*) se redujeron en plantas deficientes en hierro.

**Cobre.** - Es un componente de muchas enzimas (polifenol oxidasa, diamino oxidasa) importantes para la síntesis de lignina que imparte fuerza y rigidez de la pared celular (Broadley et al., 2012). El Cu disminuye la severidad de una amplia gama de enfermedades fúngicas asociadas con la estabilidad de la pared celular y la lignificación en las plantas. Se observa una mayor incidencia de enfermedades debido a la reducción de la lignificación en plantas con bajo contenido de Cu (Gupta et al., 2017). La deficiencia de cobre también altera la estructura lipídica en las membranas celulares que es esencial para la resistencia al estrés biótico (Broadley et al., 2012). El efecto del Cu sobre la resistencia de la planta huésped a las enfermedades ocurrió cuando se aplica Cu al suelo y disminuye la gravedad de la enfermedad en las hojas, por ejemplo, el mildiú polvoroso en el trigo y el cornezuelo de centeno (*Claviceps* sp.) en trigo (Huber et al., 2012). En niveles excesivos el cobre causa clorosis intervenal foliar, la hoja se vuelve necrótica al aumentar la exposición. La acción de los metales se observa a nivel de toda la planta en un crecimiento reducido y a nivel de órganos en los síntomas foliares (Tsonev & Cebola, 2012).

**Manganeso.** - La toxicidad por Mn y Fe es relativamente común en cultivos de invernadero cuando el pH del suelo es bajo y se agregan micronutrientes adicionales al cultivo a partir de fuentes de fertilizantes (Bryla et al., 2015). El suelo con alto contenido de humus también puede liberar Mn en la solución del suelo (Casierra et al., 2012). El uso de fertilizantes que contienen manganeso aumenta la eficiencia de la fotosíntesis y la síntesis de carbohidratos como el almidón, por lo que la eficiencia de la fotosíntesis es afectada por la deficiencia de manganeso y esto reduce el rendimiento y la calidad de los cultivos (Mousavi et al., 2011). En un experimento realizado por González (2021), a niveles altos de Mn la tasa de crecimiento relativo se redujo en 4 cultivares de arándanos (Legacy, Brigitta, Duke y Star). En estudios realizados para disminuir la severidad de *Graminis* spp. en césped, en comparación

con el césped sin tratar, el manganeso redujo efectivamente la severidad de la enfermedad (Dernoeden, 2012). En un experimento realizado para evaluar el efecto del Mn aplicado de forma foliar sobre ciertos mecanismos de defensa del pepino los resultados revelaron que la aplicación de Mn antes de la inoculación del patógeno disminuyó la enfermedad del mildiú polvoroso en las hojas tratadas y en las hojas recién crecidas de pepino (Eskandari et al., 2018).

## **2.16 Influencia del pH en el desarrollo de enfermedades**

Generalmente, los hongos aumentan el pH del huésped a un ritmo constante pero lento. El pH de la zona radical puede afectar la disponibilidad de algunos nutrientes en las plantas, en específico el pH bajo puede inhibir el crecimiento de las plantas al provocar deficiencias (Gillespie et al., 2020). En tanto, pH alcalino favorece los procesos como la germinación, el crecimiento de hifas y la formación de cuerpos fructíferos, todos críticos para la progresión de la enfermedad (Vylcova, 2017).

Algunos hongos patógenos son capaces de acidificar los tejidos de su huésped para poder penetrar. Muchos hongos necrotróficos secretan cantidades significativas de ácido como *Sclerotinia* spp. y *Botrytis* spp. Los ácidos producidos por hongos también ralentizan respuestas de defensa de las plantas huésped (Vylcova, 2017).

En el experimento realizado por Chen et al. (2019) en arándano, independientemente del estado de la planta, el pH del suelo de la rizósfera osciló entre 4.0 a 4.8, y el suelo no rizosférico excedió 5.5. En el suelo de la rizósfera, el pH fue significativamente más bajo alrededor de las plantas enfermas que en las plantas sanas, pero no hubo diferencia significativa en el pH del suelo sin rizósfera independientemente del estado de la planta (Chen et al., 2019).

En el trabajo realizado por Pritessh en 2020, pudieron observarse efectos *in vitro* del desarrollo de *Fusarium* a diferentes niveles de pH, este estudio se llevó a cabo con *Fusarium solani* NVS671 que fue identificado de tallo de caña de azúcar infectado, se encontró que el crecimiento de *Fusarium solani* NVS671 fue menor a pH 4 y pH 10 y podría alcanzar hasta 5 cm después de 7 días de incubación en medio PDA, también se observó que el pH alrededor de 7 a 8 fue óptimo para el crecimiento de *F. solani*, las capacidades de crecer a diferentes niveles de pH pueden permitir que las especies se adapten a condiciones específicas del suelo (Pritessh, 2020).

En estudios realizados por Lin Zhao (2019) se obtuvieron aislamientos de *Lasiodiplodia* spp. de ramas con tizón de tallo, en estos se confirmó el efecto del pH y la temperatura sobre el crecimiento micelial de *Lasiodiplodia vacci* en placas Petri con agar de extracto de malta. En dicho experimento, temperaturas que iban desde los 5 a los 40 °C el micelio no creció, ni de 5 a 10 °C después de 48 horas de incubación, el crecimiento más rápido ocurrió a 30 °C, el menor crecimiento ocurrió a 15 y 40 °C. También se evaluó la respuesta a pH 3 a 10, obteniendo un crecimiento micelial óptimo con valores de pH de 6.2 (Zhao et al., 2019). Cuando las plantas de la familia Ericáceae se cultivan en suelos neutros o de pH alto, exhiben estrés por deficiencias nutricionales, en especial de micronutrientes, lo que retrasa el crecimiento y esto lleva a una baja supervivencia (Imler et al., 2019).

## 2.17 Literatura citada

- Abad, B., M., P. Noguera, M., y C. B. Carrión. (2004). Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu Gavilán, M. (2004). *Tratado de cultivo sin suelo*. Mundi-Prensa.
- Abad, B., M., P. Noguera, M., y C. B. Carrión. (2005). Sustratos en los cultivos sin suelo y fertirrigación. In: Cadahia, C. (2005). *Fertirrigación* (pp: 299-352). Mundi-Prensa.
- Abad, M., Martínez, P. F., Martínez, M. D., & Martínez, J. (1993). Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de horticultura*, 11, 141-154.
- Abad, M., y P. Noguera. (2000). Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu Gavilán, M. (2000). *Manual del cultivo sin suelo* (pp: 137-184). Mundi-Prensa.
- Acosta-Gonzalez, U., Hernandez-Castrejon, J., Rebollar-Alviter, A., Silva-Rojas, H. V., Romero-Bautista, A., & Gonzalez-Villegas, R. (2018, August). Effect of chemical, biological fungicides and resistance inducers for the management of blackberry wilt caused by *Fusarium oxysporum*. In *International Congress of Plant Pathology (ICPP) 2018: Plant Health in A Global Economy*. APSNET.
- Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *Journal of King saud University-science*, 26(1), 1-20.
- Al-Khaliel, A. S. (2010). Effects of arbuscular mycorrhization in sterile and non-sterile soils. *Tropical life sciences research*, 21(1), 55.
- Ansorena M., J. (1994). *Sustratos. Propiedades y Caracterización* (170 p). Mundi-Prensa.
- Armijo, F., Corvillo, I., Ejeda, J., Carbajo, J. y Maraver, F. (2018). Turbas como fases sólidas de seis peloides europeos. *Boletín (Sociedad Española de Hidrología Médica)*. 33. 143-156. 10.23853/bsehm.2018.0570.

- Babiker, E. M., Stringer, S. J., Smith, B. J., & Sakhanokho, H. F. (2018). Reaction of different *Vaccinium* species to the blueberry leaf rust pathogen *Thekopsora minima*. *HortScience*, 53(10), 1447-1452.
- Bais, H.P., Weir, T. L., Perry, L.G., Gilroy, S., and Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review Of Plant Biology*, 57(1), 233-266. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159>
- Baixauli Soria, C., & Aguilar Olivert, J. M. (2002). *Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias* (No. C057. 013). Generalitat Valenciana.
- Balafrej, H., Bogusz, D., Triqui, Z. E. A., Guedira, A., Bendaou, N., Smouni, A., & Fahr, M. (2020). Zinc hyperaccumulation in plants: A review. *Plants*, 9(5), 562.
- Banitalebi, G., Mosaddeghi, M. R., & Shariatmadari, H. (2019). Feasibility of agricultural residues and their biochars for plant growing media: Physical and hydraulic properties. *Waste Management*, 87, 577-589.
- Banuelos, J., Trejo, D., Lara, L., Gavito, M., & Carreón, Y. (2013). Effects of seven different mycorrhizal inoculum in *Persea americana* in sterile and non-sterile soil. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(3), 423-429.
- Bhaduri, D., Rakshit, R., & Chakraborty, K. (2014). Primary and secondary nutrients-a boon to defense system against plant diseases. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 5(3), 461-466.
- Blok, C., Kreij, C. D., Baas, R. O. B., & Wever, G. (2008). Analytical methods used in soilless cultivation.
- Bolaños-Alcántara, M. N., Pineda-Pineda J, Castro-Brindis R, Vargas-Hernández M and E. Avitia-García (2019). Nitrate/ammonium ratio and electrical conductivity in blueberry quality. *Acta Horticulturae* 1265: 233-240.
- Borrero, C., Castaño, R., & Avilés, M. (2018). First Report of *Pestalotiopsis clavispora* (*Neopestalotiopsis clavispora*) causing canker and twig dieback on Blueberry

- Bushes in Spain. *Plant Disease*, 102(6), 1178-1178.  
<https://doi.org/10.1094/pdis-10-17-1529-pdn>
- Boyzo Marin, J., Rebollar Alviter, A., Silva Rojas, H., & Ramirez Maldonado, G. (2016). First Report of *Neofusicoccum parvum* causing stem blight and dieback of Blueberry in Mexico. *The American Phytopathological Society*. 100(12), 2524.  
<https://doi.org/10.1094/pdis-03-16-0381-pdn>
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., & Zhao, F. (2012). Function of nutrients: micronutrients. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 191-248). Academic Press.
- Bryla, D. R., & Strik, B. C. (2015). Nutrient Requirements, Leaf Tissue Standards, and New Options for Fertigation of Northern Highbush Blueberry, *HortTechnology hortte*, 25(4), 464-470. Recuperado el 23 de Marzo de 2021 de <https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/25/4/article-p464.xml>
- Burés, S. (1997). Sustratos Agrotécnicas SL Madrid.
- Cabot, C., Martos, S., Llugany, M., Gallego, B., Tolrà, R., & Poschenrieder, C. (2019). A role for zinc in plant defense against pathogens and herbivores. *Frontiers in plant science*, 10, 1171.
- Carhuaricra Montes, C. H. (2012). El cultivo de arandano y sus principales características.
- Casierra-Posada, F., Ulrichs, C., Büttner, C., & Pérez, C. (2012). Growth of spinach plants (*Spinacia oleracea* L.) exposed to excess zinc and manganese. *Agronomía Colombiana*, 30(3), 344-350.
- Castillo, S., Borrero, C., Castaño, R., Rodríguez, A., & Avilés, M. (2013). First report of canker disease caused by *Neofusicoccum parvum* and *N. australe* on blueberry bushes in Spain. *Plant disease*, 97(8), 1112-1112.
- Chandra, G.J. (2018). Characteristics of in vitro- and ex vitro- propagated Blueberry plants at morphological, chemical and Molecular levels. Thesis for obtaining the

degree Dr in philosophy. Department of Biology Memorial University of Newfoundland. Canadá

- Chaparro, J. M., Sheflin, A. M., Manter, D. K., & Vivanco, J. M. (2012). Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 48(5), 489-499.
- Chen, S., Zhu, Y., Shao, T., Long, X., Gao, X., & Zhou, Z. (2019). Relationship between rhizosphere soil properties and disease severity in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *Applied Soil Ecology*, 137, 187-194.
- Choi I. Y. (2011). First Report of Bark Dieback on Blueberry Caused by *Botryosphaeria dothidea* in Korea. *Plant disease*, 95(2), 227. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-10-0371>
- Corwin, D. L., & Yemoto, K. (2020). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Soil Science Society of America Journal*, 84(5), 1442-1461.
- Cruz, C. J. M., Álvarez, S.J.M., Soria, F. M.J., y Martínez B.C. (2016). Producción de sustratos orgánicos para ornamentales a menor costo que los importados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 25(1), 44-49.
- Cruz, C., E., Can, C. A., Sandoval, V.M, Bugarín, M. R., Robles B. A., y Juárez L.P. (2013). Sustratos en la horticultura. *Rev. BioCiencias*, 2(2), 17-26
- Darnell, R. L. (2006). Blueberry Botany / Environmental Physiology. En: Childers, N., & Lyrene, P. (2006). *Blueberries for growers, gardeners, and promoters* (pp. 5-13). Gainesville, Fla.: Norman F. Childers Horticultural Publications.
- Datnoff, L. E., Elmer, W. H., & Huber, D. M. (2007). *Mineral nutrition and plant disease*. American Phytopathological Society (APS Press).
- Davey Rowena S., McNeill Ann M., Barnett Stephen J., Gupta Vadakattu V. S. R. (2021). Potential for suppression of *Rhizoctonia* root rot is influenced by nutrient (N and P) and carbon inputs in a highly calcareous coarse-textured topsoil. *Soil Research*

- De Boodt, M., Verdonck, O., & Cappaert, I. (1974). Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Horticulturae*, (37), 2054–2063. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1974.37.20>
- Delaye, L., García-Guzmán, G., & Heil, M. (2013). Endophytes versus biotrophic and necrotrophic pathogens—are fungal lifestyles evolutionarily stable traits?. *Fungal Diversity*, 60(1), 125-135.
- Dennis, P. G., Miller, A. J. and Hirsch, P. R. (2010). Are root exudates more important than other sources of rhizodeposits in structuring rhizosphere bacterial communities?. *FEMS Microbiology Ecology*, 72(3): 313-327. doi: 10.1111/j.1574-6941.2010.00860.x
- Dernoeden, P. H. (2012). *Creeping bentgrass management*. CRC Press.
- Dordas, C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*, 28(1), 33-46.
- Douglas A. Phillips.(2019). Blueberry Extension coordinator, Horticultural Sciences Department; Norma C. Flor, postdoctoral researcher, Plant Pathology Department; and Philip F. Harmon, professor, Plant Pathology Department; UF/IFAS Extension, Gainesville, FL 32611.
- Ehlenfeldt, M., & Ballington, J. (2012). *Vaccinium* species of section *hemimyrtilus* - their value to cultivated blueberry and approaches to utilization. *Acta Horticulturae*, (948), 243-252. doi: 10.17660/actahortic.2012.948.28
- El-Kazzaz, K. A., & El-Kazzaz, A. A. (2017). Soilless agriculture a new and advanced method for agriculture development: an introduction. *Agri Res Tech*, 3, 63-72.
- Eskandari, S., Khoshgoftarmanesh, A. H., & Sharifnabi, B. (2018). The effect of foliar-applied manganese in mineral and complex forms with amino acids on certain defense mechanisms of cucumber (*Cucumis sativus* L.) against powdery mildew. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(2), 481-490.

- Espinoza, J. G., Briceño, E. X., Keith, L. M., & Latorre, B. A. (2008). Canker and twig dieback of blueberry caused by *Pestalotiopsis* spp. and a *Truncatella* sp. in Chile. *Plant Disease*, 92(10), 1407-1414.
- Fang, Y., Nunez, G. H., Silva, M. N. D., Phillips, D. A., & Munoz, P. R. (2020). A Review for Southern Highbush Blueberry Alternative Production Systems. *Agronomy*, 10(10), 1531.
- FAO. (2020). Portal de Suelos de la FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Fernández, M. (1998). Suelo y medio Ambiente en invernaderos Consejería de Agricultura y Pesca. *Junta de Andalucía. Sevilla*, 34.
- Flor, Norma C., Douglas A. Phillips, and Philip F. Harmon. "Botryosphaeria Stem Blight on Southern Highbush Blueberry in Florida." *EDIS* 2019.2 (2019).
- Florence, J., and Pscheidt, J. (2017). *Monilinia vaccinii-corymbosi* apothecial development associated with mulch depth and timing of application. *Plant Disease*, 101(5), 807-814. doi: 10.1094/pdis-01-16-0087-re
- Fones, H., & Preston, G. M. (2012). Reactive oxygen and oxidative stress tolerance in plant pathogenic *Pseudomonas*. *FEMS microbiology letters*, 327(1), 1-8.
- Frías-Ortega, C. E., Santiago, G. A., Bugarín-Montoya, R., Aburto-González, C. A., Juárez-Rosete, C. R., Urbina-Sánchez, E., & Sánchez-Hernández, E. (2020). Concentración de la solución nutritiva y su relación con la producción y calidad de arándano azul. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-14.
- Fukao, Y., Ferjani, A., Tomioka, R., Nagasaki, N., Kurata, R., Nishimori, Y., ... & Maeshima, M. (2011). iTRAQ analysis reveals mechanisms of growth defects due to excess zinc in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 155(4), 1893-1907.
- Fulcher, A., Gauthier, N. W., Klingeman, W. E., Hale, F., & White, S. A. (2015). Blueberry culture and pest, disease, and abiotic disorder management during

nursery production in the southeastern US: A review. *Journal of Environmental Horticulture*, 33(1), 33-47.

- Galindo Pardo, F., Fortis Hernández, M., Preciado Rangel, P., Trejo Valencia, R., Segura Castruita, M., y Orozco Vidal, J. (2014). Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 5(7), 1219. doi: 10.29312/remexca.v5i7.867
- Gallegos-Cedillo, V. M., Álvaro, J. E., Capatos, T., Hachmann, T. L., Carrasco, G., & Urrestarazu, M. (2018). Effect of pH and silicon in the fertirrigation solution on vegetative growth of blueberry plants in organic agriculture. *HortScience*, 53(10), 1423-1428.
- Gayosso-Rodríguez, S., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. A., & Garruña, R. (2018). Caracterización físico-química de mezclas de residuos orgánicos utilizados como sustratos agrícolas. *Bioagro*, 30(3), 179-190.
- Gillespie, D. P., Kubota, C., & Miller, S. A. (2020). Effects of low pH of hydroponic nutrient solution on plant growth, nutrient uptake, and root rot disease incidence of basil (*Ocimum basilicum* L.). *HortScience*, 55(8), 1251-1258.
- González, P., Alaniz, S., Montelongo, M. J., Rauduviniche, L., Rebellato, J., Silvera-Pérez, E., & Mondino, P. (2012). First report of *Pestalotiopsis clavispora* causing dieback on blueberry in Uruguay. *Plant disease*, 96(6), 914-914.
- González-Villagra, J., Escobar, A. L., Ribera-Fonseca, A., Cárcamo, M. P., Omena-García, R. P., Nunes-Nesi, A., ... & Reyes-Díaz, M. (2021). Differential mechanisms between traditionally established and new highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars reveal new insights into manganese toxicity resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 454-465.
- Grunert, O., Hernandez-Sanabria, E., Vilchez-Vargas, R., Jauregui, R., Pieper, D. H., Perneel, M., Van Labeke, M. C., Reheul, D. y Boon, N. (2016). Mineral and organic growing media have distinct community structure, stability and

- functionality in soilless culture systems. *Scientific Reports*, 6(1). doi:10.1038/srep18837
- Gupta, N., Debnath, S., Sharma, S., Sharma, P., & Purohit, J. (2017). Role of nutrients in controlling the plant diseases in sustainable agriculture. In *Agriculturally important microbes for sustainable agriculture* (pp. 217-262). Springer, Singapore.
- Gupta, S. K., Rai, A. K., Kanwar, S. S., & Sharma, T. R. (2012). Comparative analysis of zinc finger proteins involved in plant disease resistance. *PLoS One*, 7(8), e42578.
- Gutiérrez, C., M., D. Carmen, J. Hernández E., Ortíz, S.C.A., Anicua, S. R., y Hernández, L. (2011). Relación porosidad retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(3), 183-196.
- Haralson, J. C., Brannen, P. M., NeSmith, D. S., and Scherm, H. (2013). Chemical control of *Cylindrocladium* and *Rhizoctonia* root rots in blueberry propagation. *Crop Protection*, 44, 1–5. doi:10.1016/j.cropro.2012.09.017
- Harel, Y. M., Elad, Y., Rav-David, D., Borenstein, M., Shulchani, R., Lew, B., & Graber, E. R. (2012). Biochar mediates systemic response of strawberry to foliar fungal pathogens. *Plant and Soil*, 357(1), 245-257.
- Hilário, S., Lopes, A., Santos, L., & Alves, A. (2020). Botryosphaeriaceae species associated with blueberry stem blight and dieback in the Centre Region of Portugal. *European Journal of Plant Pathology*, 156(1), 31-44.
- Hoper, H. & Alabouvette, C. (1996). Importance of physical and chemical soil properties in the suppressiveness of soils to plant diseases. *European Journal of Soil Biology*.32(1): 41-58.
- Huber, D. M., & Jones, J. B. (2013). The role of magnesium in plant disease. *Plant and soil*, 368(1), 73-85.

- Huber, D., Römheld, V., & Weinmann, M. (2012). Relationship between nutrition, plant diseases and pests. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 283-298). Academic Press.
- Imler, C. S., Arzola, C. I., & Nunez, G. H. (2019). Ammonium Uptake Is the Main Driver of Rhizosphere pH in Southern Highbush Blueberry. *HortScience horts*, 54(5), 955-959. Retrieved Mar 23, 2021, from <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/54/5/article-p955.xml>
- Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A., & Kopriva, S. (2017). The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition current knowledge and future directions. *Frontiers in plant science*, 8, 1617.
- Joshi, D., Hooda, K. S., Bhatt, J. C., Mina, B. L., & Gupta, H. S. (2009). Suppressive effects of composts on soil-borne and foliar diseases of French bean in the field in the western Indian Himalayas. *Crop Protection*, 28(7), 608-615.
- Jupe, J., Stam, R., Howden, A. J., Morris, J. A., Zhang, R., Hedley, P. E., & Huitema, E. (2013). *Phytophthora capsici* tomato interaction features dramatic shifts in gene expression associated with a hemi-biotrophic lifestyle. *Genome biology*, 14(6), 1-18.
- Kaiser, K., & Kalbitz, K. (2012). Cycling downwards—dissolved organic matter in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 52, 29-32.
- Kieu, N. P., Aznar, A., Segond, D., Rigault, M., SIMOND-CÔTE, E. L. I. Z. A. B. E. T. H., Kunz, C., ... & Dellagi, A. (2012). Iron deficiency affects plant defence responses and confers resistance to *Dickeya dadantii* and *Botrytis cinerea*. *Molecular plant pathology*, 13(8), 816-827.
- Kingston, P. H., Scagel, C. F., Bryla, D. R., & Strik, B. (2017). Suitability of sphagnum moss, coir, and douglas fir bark as soilless substrates for container production of highbush blueberry. *HortScience*, 52(12), 1692-1699.

- Lan, C. Z., Ruan, H. C., & Yao, J. A. (2016). First report of *Phytophthora cinnamomi* causing root and stem rot of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) in China. *Plant Disease*, 100(12), 2537-2537.
- Latorre, B. A., Díaz, G. A., & Reed, M. P. (2012). Effect of water activity on in vitro mycelial growth of *Neofusicoccum* spp. infecting blueberry. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 39(1), 221-228.
- Latorre, B. A., Elfar, K., Espinoza, J. G., Torres, R., & Díaz, G. A. (2012). First report of *Diaporthe australafricana* associated with stem canker on blueberry in Chile. *Plant disease*, 96(5), 768-768.
- Latorre, B. A., Torres, R., Silva, T., & Elfar, K. (2013). Evaluation of the use of wound-protectant fungicides and biological control agents against stem canker (*Neofusicoccum parvum*) of blueberry. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 40(3), 537-545.
- Liu, Y. H., Lin, T., Ye, C. S., & Zhang, C. Q. (2014). First report of *Fusarium Wilt* in blueberry (*Vaccinium corymbosum*) caused by *Fusarium oxysporum* in China. *Plant Disease*, 98(8), 1158–1158. <https://doi.org/10.1094/pdis-02-14-0167-pdn>
- Lopez, D., Ribeiro, S., Label, P., Fumanal, B., Venisse, J. S., Kohler, A., ... & Pujade-Renaud, V. (2018). Genome-wide analysis of *Corynespora cassiicola* leaf fall disease putative effectors. *Frontiers in microbiology*, 9, 276.
- MacKenzie, K. J., Sumabat, L. G., Xavier, K. V., & Vallad, G. E. (2018). A review of *Corynespora cassiicola* and its increasing relevance to tomato in Florida. *Plant Health Progress*, 19(4), 303-309.
- Madani, B., Mohamed, M. T. M., Biggs, A. R., Kadir, J., Awang, Y., Tayebimeigooni, A., & Shojaei, T. R. (2014). Effect of pre-harvest calcium chloride applications on fruit calcium level and post-harvest anthracnose disease of papaya. *Crop Protection*, 55, 55-60.

- Maharachchikumbura, S. S., Guo, L. D., Chukeatirote, E., Bahkali, A. H., & Hyde, K. D. (2011). *Pestalotiopsis* morphology, phylogeny, biochemistry and diversity. *Fungal Diversity*, 50(1), 167-187.
- Maharachchikumbura, S. S., Hyde, K. D., Groenewald, J. Z., Xu, J., & Crous, P. W. (2014). *Pestalotiopsis* revisited. *Studies in Mycology*, 79, 121-186.
- Mamgain, A., Roychowdhury, R., & Tah, J. (2013). *Alternaria* pathogenicity and its strategic controls. *Research Journal of Biology*, 1, 1-9.
- Mascarini, L., Lorenzo, G., Svartz, H., Pesenti, S. y Amado, S. (2012). Tamaño de contenedor y tipo de sustrato afectan la eficiencia en el uso del agua en *Gerbera jamesonii* para flor cortada. *Revista Brasileña de Horticultura Ornamental*, 18(1), 71-77.
- Maucieri C., Nicoletto C., Os E., Anseeuw D., Havermaet R.V., Junge R. (2019) Hydroponic Technologies. In: Goddek S., Joyce A., Kotzen B., Burnell G.M. (eds) *Aquaponics Food Production Systems*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_4)
- Medina, C., Clara I., Lobo A., Castaño, C., Álvaro, A. y Cardona, L. (2015). Análisis del desarrollo de plantas de mortiño (*Vaccinium meridionale* Swart.) bajo dos sistemas de propagación: clonal y sexual. *Corpoica ciencia y tecnología. Agropecuaria*, 16(1), 65-77. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol16\\_num1\\_art:390](https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num1_art:390)
- Miranda D. (2018). Innovar para ompetir 40 casos de éxito. Modelo Integral de Innovación para el cultivo de arándano con calidad de exportación
- Miranda, F. R. D., Silva, V. B. D., Santos, F. S. R. D., Rossetti, A. G., & Silva, C. D. F. B. D. (2014). Production of strawberry cultivars in closed hydroponic systems and coconut fibre substrate. *Revista Ciencia Agronómica*, 45(4), 833-841.
- Mondragón Flores, A., López Medina, J., Ochoa Ascencio, S., & Gutiérrez Contreras, M. (2012). Hongos asociados a la parte aérea del arándano en Los Reyes, Michoacán, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 30(2), 141-144.

- Morales, M. E. R., y Casanova, L.F. (2015). Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partícula y proporción. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 365-372.
- Moreno-Velandia, CA, Izquierdo-García, LF, Ongena, M., Kloepper, J. and Cotes, A. (2019). La esterilización del suelo, la concentración de patógenos y antagonistas afectan el control biológico de la marchitez por *Fusarium* de la uchuva por *Bacillus velezensis* Bs006. *Plant Soil*, 435(1-2), 39–55. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3866-4>
- Mousavi, S. R., Shahsavari, M., & Rezaei, M. (2011). A general overview on manganese (Mn) importance for crops production. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(9), 1799-1803.
- Moya, E, E. A., Doussoulin, H., San Martín, J. G., Ruiz, B. E., y Del Valle, P. A. (2019). First report of *Fusarium oxysporum* Schltdl causing *Fusarium Wilt* on blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) in Chile. *Plant Disease*, 103(10), 2669-2669. <https://doi.org/10.1094/pdis-02-19-0275-pdn>
- Muñoz-Vega, P., Serri, H., López, M., Faundez, M. y Palma, P. (2017). Efecto de diferentes intensidades de poda sobre el rendimiento y calidad de fruta en arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 33(3), 285-303. <https://doi.org/10.4067/s0719-38902017005000706>
- Rondon, N. M., & Lawrence, K. (2021). The fungal pathogen *Corynespora cassiicola*: A review and insights for target spot management on cotton and Soya bean. *Journal of Phytopathology*.
- Noble, R. (2011). Risks and benefits of soil amendment with composts in relation to plant pathogens. *Australasian plant pathology*, 40(2), 157-167.
- Noguera, P., Abad, M., Noguera V, Puchades, R. and Maquieira A. (2000). Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. *Acta Horticulturae*, 517, 279-286. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2000.517.34>

- Ochmian, I., Malinowski, R., Kubus, M., Malinowska, K., Sotek, Z. y Racek, M. (2019). La factibilidad de cultivar arándanos altos (*V. corymbosum* L.) en suelos arcillosos cálcicos con el uso de sustratos orgánicos. *Scientia Horticulturae*, 257, 108690.
- Osorio, R., Cáceres, C., & Covarrubias, J. I. (2019). Vegetative and physiological responses of “emerald” blueberry to Ammoniacal sources with a nitrification inhibitor. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-9.
- Osuna, C. F. J.; García, P. F.; Ramírez, R. S.; Canul K. J. y Moreno, L. M. F. (2011). Manejo de Sustratos para el Control Biológico de la producción de raíz en noche buena de interior con *Trichoderma* spp. SAGARPA. INIFAP. pp 29.
- Pane, C., Spaccini, R., Piccolo, A., Scala, F., & Bonanomi, G. (2011). Compost amendments enhance peat suppressiveness to *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor*. *Biological Control*, 56(2), 115-124.
- Pellegrini, A., Prodorutti, D., & Pertot, I. (2014). Use of bark mulch pre-inoculated with *Trichoderma atroviride* to control *Armillaria* root rot. *Crop Protection*, 64, 104-109.
- Pérez, B. A., Berretta, M. F., Carrión, E., & Wright, E. R. (2011). First report of root rot caused by *Fusarium proliferatum* on blueberry in Argentina. *Plant disease*, 95(11), 1478-1478.
- Pérez, C. O. A. (2018). Análisis de la cadena productiva del arándano en México y Chile. *Revista mexicana de estudios sobre la Cuenca del Pacífico*, 12(23), 32-33.
- Perincherry, L., Lalak-Kańczugowska, J., & Stępień, Ł. (2019). *Fusarium*-produced mycotoxins in plant-pathogen interactions. *Toxins*, 11(11), 664.
- Phillips, A. J. L., Alves, A., Abdollahzadeh, J., Slippers, B., Wingfield, M. J., Groenewald, J. Z., & Crous, P. W. (2013). The Botryosphaeriaceae: genera and species known from culture. *Studies in Mycology*, 76, 51–167. doi:10.3114/sim0021

- Pietraszko, M., Gryń, G., and Przewodowski, W. (2018). An effect of weather and soil conditions and their interaction on infection of leaves and tubers of potato with bacteria *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*. *American Journal of Potato Research*, 95(3), 278–285. doi:10.1007/s12230-017-9629-6
- Prior, R. L., & Wu, X. (2013). Diet Antioxidant Capacity: Relationships to Oxidative Stress and Health. *American Journal of Biomedical Sciences*, 5(2). 126-139. 10.5099/aj130200126
- Prittesh, P. (2020) Influence of carbon - nitrogen supplements and pH on growth of sugarcane stem root pathogen *Fusarium Solani* NVS671. *Journal of Fungal Diversity*. 1(1),27-32.
- Quintero, C. M. F., González M. C. A., y Guzmán P. J.M. (2011). *Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte*. Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Rajarammohan, S., Paritosh, K., Pental, D., & Kaur, J. (2019). Comparative genomics of *Alternaria* species provides insights into the pathogenic lifestyle of *Alternaria brassicae* a pathogen of the Brassicaceae family. *BMC genomics*, 20(1), 1-13.
- Rebollar-Alviter, A., Boyzo-Marin, J., Silva-Rojas, H. V., & Ramirez, G. (2013, June). Fungi and oomycete pathogens causing stem blight and root rots on blueberry in central Mexico. *Phytopathology* .103(6), pp. 119-120).
- Rebollar-Alviter, A., Minnis, A., Dixon, L., Castlebury, L., Ramírez-Mendoza, M., Silva-Rojas, H., & Valdovinos-Ponce, G. (2011). First report of leaf rust of blueberry Caused by *Thekopsora minima* in Mexico. *Plant Disease*, 95(6), 772-772. doi: 10.1094/pdis-12-10-0885
- Ren, H., Wu, Y., Ahmed, T., Qi, X., & Li, B. (2021). Response of Resistant and Susceptible Bayberry Cultivars to Infection of Twig Blight Pathogen by Histological Observation and Gibberellin Related Genes Expression. *Pathogens*, 10(4), 402.

- Rivera, S. A., Zoffoli, J. P., y Latorre, B. A. (2013). Infection risk and critical period for the postharvest control of gray mold (*Botrytis cinerea*) on Blueberry in Chile. *Plant disease*, 97(8), 1069–1074. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-12-1112-RE>
- Rodríguez Díaz, E., Salcedo Pérez, E., Rodríguez Macías, R., González Eguiarte, D. R., & Mena Munguía, S. (2013). Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latinoamericana*, 31(4), 275-284.
- Rodríguez, F.H. & Rodríguez A. J. (2018). Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de Interpretación (3 Ed). TrillasN.
- Sadowsky, J., Miles, T., & Schilder, A. (2011). First report of stem blight caused by *Calonectria colhounii* (Anamorph *Cylindrocladium colhounii*) on greenhouse-grown blueberries in the United States. *Plant Disease*, 95(9), 1187-1187. doi: 10.1094/pdis-02-11-0117
- Saito, S., Michailides, T., & Xiao, C. (2014). First report of *Botrytis pseudocinerea* causing gray mold on Blueberry in North America. *Plant Disease*, 98(12), 1743-1743. doi: 10.1094/pdis-06-14-0573-pdn
- Salgado, C., Sánchez, P., Volke, V. y Colinas, M. (2018). Respuesta agronómica de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) al estrés osmótico. *Agro ciencia*, 52(2):231-239
- SCyT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes). (2010). Inventario de bancos de materiales.
- Servicio M. G. (2016). Anuario estadístico de la minería mexicana 2019. Edición 2020. Recuperado el 06 de abril de 2021 de [http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario\\_2019\\_Edicion\\_2020.pdf](http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2019_Edicion_2020.pdf)
- Shands, A.C., Yamagata, J. S., Wright A. F. and Miles T. D. (2016). First report of *Phytophthora cinnamomi* causing root rot of southern highbush Blueberry in

California. *Plant Disease*.100:2, 537. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-15-0738-PDN>

SIAP. 2020. Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP). Edición, 2020.

Simpson, M. (2021). Berry plant protection guide 2021–22. Department of Primary Industries. Wollongbar Primary Industries Institute

Spann, T. M., & Schumann, A. W. (2010). Mineral nutrition contributes to plant disease and pest resistance. *EDIS*, 2010(4).

Tasa, T., Starast, M., Vool, E., Moor, U., & Karp, K. (2012). Influence of soil type on half-highbush blueberry productivity. *Agricultural and Food Science*, 21(4), 409-420. <https://doi.org/10.23986/afsci.6105>

Teramoto, A., Meyer, M. C., Suassuna, N. D., & Cunha, M. G. D. (2017). In vitro sensitivity of *Corynespora cassiicola* isolated from soybean to fungicides and field chemical control of target spot. *Summa Phytopathologica*, 43(4), 281-289.

Torres, O. G. V., Patiño, M. L. D., Pérez, M. A., Rodríguez, M. A., Nava, H. S., Rangel, M. G. M., ... & Salazar, M. D. C. M. (2017). *Sustrato como material de última generación*. OmniaScience.

Trejo-Téllez, L. I., Ramírez-Martínez, M., Gómez-Merino, F. C., García-Albarado, J. C., Baca-Castillo, G. A., & Tejeda-Sartorius, O. (2013). Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE5), 863-876.

Tsonev, T., & Cebola Lidon, F. J. (2012). Zinc in plants-an overview. *Emirates Journal of Food & Agriculture (EJFA)*, 24(4).

Urrestarazú G. M. (2013). Tratado de cultivo sin suelo. Ediciones Mundi-Prensa.

Urrestarazu, G. M. (2004). Manual de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa.

Usted, M. P., Lanoiselet, V., Wang, C. P., & Barbetti, M. J. (2014). First report of *Alternaria* leaf spot caused by *Alternaria tenuissima* on Blueberry (*Vaccinium*

*corymbosum*) in Western Australia. *Plant disease*, 98(3), 423.  
<https://doi.org/10.1094/PDIS-07-13-0737-PDN>

- Valenzuela, O. R., Gallardo, C. S. Carponi, M. S., Aranguren, M. E. Tabares, H. R. y Barrera, M. C. (2014). Manejo de las propiedades físicas en sustratos regionales para el cultivo de plantas en contenedores. *Ciencia Docencia y Tecnología Suplemento*. 4(4), 1-19.
- Vallance, J., Déniel, F., Le Floch, G., Guérin-Dubrana, L., Blancard, D., & Rey, P. (2011). Pathogenic and beneficial microorganisms in soilless cultures. *Sustainable Agriculture Volume 2*, 711-726.
- Van Gerrewey, T., Ameloot, N., Navarrete, O., Vandecruys, M., Perneel, M., Boon, N., & Geelen, D. (2020). Microbial activity in peat-reduced plant growing media: Identifying influential growing medium constituents and physicochemical properties using fractional factorial design of experiments. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120323.
- Vargas Tapia, P., Castellanos Ramos, J. Z., Sanchez Garcia, P., Tijerina Chavez, L., Lopez Romero, R. M., & Ojo de agua Arredondo, J. L. (2008). Physical, chemical and biological characterization of coir dust. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4), 375-381.
- Vega, A y Muños, C. (1994). Presencia de Micorrizas Ericáceas en Chile. *Agricultura Técnica*. 54(3),332-339.
- Veresoglou, S. D., Barto, E. K., Menexes, G., & Rillig, M. C. (2013). Fertilization affects severity of disease caused by fungal plant pathogens. *Plant Pathology*, 62(5), 961-969.
- Voogt, W., Van Dijk, P., Douven, F., & Van Der Maas, R. (2012). Development of a soilless growing system for blueberries (*Vaccinium corymbosum*): nutrient demand and nutrient solution. In *X International Symposium on Vaccinium and Other Superfruits 1017* (pp. 215-221).

- Vylkova, S. (2017). Environmental pH modulation by pathogenic fungi as a strategy to conquer the host. *PLoS pathogens*, 13(2), e1006149.
- Waller, P. and Yitayew M (2016). *Irrigation and Drainage Engineering*. Springer. 747 p.
- Wang, B., Liang, X., Gleason, M. L., Zhang, R., & Sun, G. (2018). Comparative genomics of *Botryosphaeria dothidea* and *B. kuwatsukai*, causal agents of apple ring rot, reveals both species expansion of pathogenicity-related genes and variations in virulence gene content during speciation.
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International journal of molecular sciences*, 14(4), 7370-7390.
- Wong, M. Y. (2003). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) WC Snyder and HN Hans. PP728 Soilborne Plant Pathogen Class Project, [cit. 201009-10].
- Woudenberg, J. H., Seidl, M. F., Groenewald, J. Z., de Vries, M., Stielow, J. B., Thomma, B. P., and Crous, P. W. (2015). *Alternaria* section *Alternaria*: Species, formae speciales or pathotypes?. *Studies in mycology*, 82, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2015.07.001>
- Xu, C., Zhang, H., Zhou, Z., Hu, T., Wang, S., Wang, Y., and Cao, K. (2015). Identification and distribution of Botryosphaeriaceae species associated with blueberry stem blight in China. *European Journal of Plant Pathology*, 143(4), 737–752. doi:10.1007/s10658-015-0724-6
- Xu, C., Zhou, Z., Wu, Y., Chi, F., Ji, Z., & Zhang, H. (2013). First Report of *Colletotrichum acutatum* Associated with Stem Blight of Blueberry Plants in China. *Plant Disease*, 97(3), 422-422. doi: 10.1094/pdis-08-12-0738-pdn
- Xue, D. S., Lian, S., Li, B.H. y Wang, C. X. (2018). First Report of *Pestalotiopsis clavispora* causing root rot on blueberry in China. *Plant Disease*, 102(8), 1655
- Zhao, L., Wang, Y., He, W., & Zhang, Y. (2019). Stem Blight of Blueberry Caused by *Lasiodiplodia vaccinii* sp. nov. in China. *Plant disease*, 103(8), 2041-2050.

- Zhao-Sen, X. and Xiao-Chun W. (2009). Studies on substrates for blueberry cultivation. *Acta Horticulturae*, (810), 513–520. doi:10.17660/actahortic.2009.810.68
- Zheng, X., Qi, X., Xu, J., Cui, Y., Yu, X., Chang, X., ... & Gong, G. (2015). First Report of *Corynespora* Leaf Spot of Blueberry Caused by *Corynespora cassiicola* in Sichuan, China. *Plant Disease*, 99(11), 1651.
- Zheng, X., Tang, G., Tian, Y., Huang, X., Chang, X., Chen, H., Zhang, S., Yang, H., Gong, G. (2017). First report of leaf rust of blueberry caused by *Thekopsora minima* in China. *Plant Disease*. 101(5), 835–835. 10.1094/PDIS-09-16-1379-PDN.
- Zörb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture—status and perspectives. *Journal of plant physiology*, 171(9), 656-669.

### 3. CAPITULO III: DIAGNOSTICO DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE SUSTRATOS Y HONGOS ASOCIADOS A TIZÓN DE TALLO, MARCHITEZ DE PUNTAS Y MUERTE REGRESIVA DE ARÁNDANO

#### 3.5. Resumen

El cultivo de arándano es económicamente importante en México. Los síntomas como tizón de tallo, marchitez de puntas y muerte descendente se han observado con frecuencia durante los últimos 5 años afectando la producción. Por otra parte, el sistema de producción que va en aumento implica el uso de sustratos, ya que permite un mejor control de crecimiento, desarrollo y producción. Por ello, los objetivos de esta investigación fueron identificar los patógenos asociados a tizón de tallo, muerte de puntas y muerte regresiva en arándano, identificar los materiales más utilizados como sustratos de este cultivo y el estado de sus propiedades físico-químicas y finalmente realizar un análisis de correlación para determinar cuáles factores estaban involucrados en la incidencia y severidad de enfermedades. Se realizó una colecta en 32 parcelas, se tomaron muestras compuestas de sustrato y se colectaron tallos enfermos en 5 puntos distribuidos al azar. De los tallos se realizaron aislamientos en medio PDA obteniendo cultivos monospóricos y se identificaron a los microorganismos morfológicamente. Se evaluaron las propiedades de los sustratos siguiendo la metodología de De Boodt para propiedades físicas, y para las químicas se aplicaron técnicas de volumetría, espectrofotometría, colorimetría y absorción atómica. Los patógenos identificados fueron *Pestalotiopsis* sp, *Fusarium* sp, *Lasiodiplodia* sp y *Neofusicoccum* sp. Mientras que los sustratos encontrados con más frecuencia fueron fibra y microchips de coco, turba, perlita, tepojal y tezontle. Se utilizó el análisis de correlación de Pearson y el análisis de componentes principales para determinar aquellas correlaciones significativas entre las propiedades físico-químicas y la incidencia y severidad de enfermedades de tallo. Las correlaciones significativas obtenidas del análisis de correlación de Pearson fueron: sodio-fósforo, conductividad eléctrica-magnesio, variedad-densidad aparente, fósforo-cobre, cobre-espacio poroso total, agua fácilmente disponible-capacidad de retención de humedad, magnesio-calcio, potasio-edad, densidad-patógeno, zinc-manganeso, cobre-tejido, zinc-hierro, sustrato-densidad aparente; las correlaciones significativas del análisis de componentes principales fueron K, P, CRH, Na, edad, Ca, ADD, AFD; en el segundo componente principal estuvo Cu, Fe, Zn, DAP, EPT, CA; el componente principal 3, estuvo representado por el NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, pH, AR, ATD y ADD, y en el componente 4 se ubicó la incidencia y severidad con menor contribución a la varianza.

**Palabras clave:** cultivo sin suelo, patógenos, incidencia y severidad de enfermedad.

### 3.6. Introducción

El arándano ha adquirido un gran interés por sus propiedades de alta capacidad antioxidante y alto contenido en fibra. En México no existe un gran mercado para esta frutilla debido a que no forma parte de la dieta común, sin embargo, el país es el sexto productor más importante de este fruto a nivel mundial. La mayoría de la cosecha se exporta en fresco a América del Norte (SIAP, 2020). En los últimos años han sido reportados en México diferentes hongos que atacan el arándano como *Thekopsora mínima* (Rebollar et al., 2011), *Neofusicoccum parvum* (Boyzo et al., 2016), *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, *Pestalotiopsis photiniae*, *Pestalotiopsis microspora* y como agente causal de la pudrición de la raíz y corona se encontró a *Phytophthora cinnamomi* (Rebollar et al., 2013). Mientras que los patógenos identificados solo a nivel morfológico asociados a pudrición del fruto son *Alternaria* y *Colletotrichum*; a manchas foliares *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Neofusicoccum*, *Pestalotiopsis*, *Phyllosticta*, y *Stemphyllium*; para roya *Pucciniastrum* y atizonamiento; a cáncer del tallo *Alternaria*, *Bipolaris*, *Colletotrichum*, *Curvularia*, *Neofusicoccum*, *Phomopsis*, *Pestalotiopsis* y *Phoma*; y con tizón de yemas *Chaetomium* y *Phoma* (Mondragón et al., 2012).

Los sustratos utilizados en los sistemas de cultivo sin suelo presentan grandes ventajas pues reducen la propagación de patógenos transmitidos por el suelo y las propiedades físico-químicas de los sustratos pueden controlarse dentro de intervalos estrechos, esto se traduce a plantas más sanas y mayores rendimientos en comparación con la producción de cultivos en suelo (Schwarz, 2012). Los sustratos orgánicos que se utilizan ampliamente en cultivos sin suelo incluyen turba, composta, fibra de coco, corteza y otros materiales a base de madera, los que en su mayoría se mezclan con sustratos inorgánicos como perlita, piedra pómez, zeolita y arena, con el fin de mejorar sus propiedades físico-químicas (Gohardoust et al., 2020). Las características físicas requeridas para los sustratos de cultivos hidropónicos son densidad aparente  $<0.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , densidad real de  $1.45\text{-}2.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $>85\%$  de espacio poroso total,  $55\text{-}70\%$  de retención de agua a 10 cm de tensión,  $30\text{-}40\%$  de retención de agua a 50 cm de tensión,  $25\text{-}30\%$  de retención de agua a 100 cm de tensión,  $15\text{-}$

30% en capacidad de aireación, 20-30% de agua fácilmente disponible, 4-10% agua de reserva, 25-40% agua total disponible, y para sustratos orgánicos >80% de materia orgánica (Abad et al., 1992; Ansorena, 1994; Blok et al., 2008). La concentración ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) de los nutrimentos que requiere el arándano es:  $\text{NH}_4^+$  81 a 101,  $\text{NO}_3^-$  de 95 a 284 con una media de 158,  $\text{K}^+$  de 90 a 172,  $\text{Ca}^{2+}$  de 54 a 105 y  $\text{Mg}^{2+}$  de 44 a 83, donde los valores más altos se requieren en etapa de inicio de floración;  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  38.75, Fe y Mn 1.5, Zn 0.15, Cu 0.1 y B 0.6 (Bolaños et al., 2019). Considerando las propiedades físicas y químicas del medio de crecimiento, los objetivos de esta investigación fueron 1) Describir las sintomatologías de enfermedades más comunes en arándano, especialmente en tallo, e identificar morfológicamente los agentes causales, 2) caracterizar los materiales utilizados como sustratos y el estado de sus propiedades físico-químicas y comprobar si existen diferencias entre las propiedades físico-químicas por edad y por condición sana o enferma de la planta y finalmente saber si las características fisicoquímicas tienen relación con la incidencia y severidad de tizón de tallo, marchitez de puntas y muerte regresiva en arándano.

### **3.7. Materiales y métodos**

#### **a. Muestreo**

Se muestrearon 32 parcelas en total durante los meses de octubre a diciembre del año 2020, distribuidas en los municipios de Ciudad Guzmán, La Barca, Sayula, Tala y Tamazula en el estado de Jalisco, y en los municipios de Los Reyes, Tangamandapio y Zamora en el estado de Michoacán.

En un recorrido por cada parcela se seleccionaron 5 puntos al azar distribuidos en toda la parcela, en cada punto de muestreo se determinó la incidencia y severidad de las enfermedades haciendo énfasis en las más importantes y predominantes de tizón en tallo, muerte de puntas y muerte descendiente. La severidad de la enfermedad se estimó tomando como base una escala del progreso de los síntomas observados en campo, para tizón de tallo y marchitez de puntas se estableció: 0 = planta sana, 1 = 5-10, 2 = 10-25, 3 = 25-50, 4 = 50-75, 5 = 75-85, 6 = 85-100% de tallos con marchitez; para el caso de muerte descendiente la escala fue 0 = planta sana, 1 = síntomas de marchitez en una rama, 2 = necrosis o secamiento en una rama, 3 = necrosis y muerte del 50% de tallos, 4 = 75% de los tallos con necrosis y 5 = planta con todos los tallos necrosados.

Adicional al muestreo, se realizó una encuesta a los productores para complementar información sobre las prácticas de manejo más utilizadas como tipo de poda, distancia de establecimiento de las plantas, volumen de contenedores, sistemas de riego, etc. en el cultivo, y de esa forma conocer como es el manejo del cultivo en campo.

#### **b. Análisis de tejido vegetal**

El aislamiento de las muestras de tejido se realizó en el laboratorio de fitopatología ubicado en el Centro Regional Universitario Centro-Occidente (CRUCO) de la Universidad Autónoma Chapingo.

El material colectado en cada parcela con los síntomas visibles predominantes, correspondió a síntomas de tizón de tallo, marchitez de punta, mancha foliar y muerte

descendente, aunque también se encontraron síntomas de manchas foliares. En laboratorio, este material fue procesado siguiendo la metodología de Boyzo et al. (2016).

a) Se seleccionó el material de acuerdo al nivel de infección observado y se realizó una breve descripción del síntoma.

b) El material en el que se observaba una parte enferma y sana, se cortaron los tallos en 5 cm para facilitar su desinfección.

c) Los tejidos seleccionados fueron desinfectados superficialmente durante 1.4 a 2 minutos con hipoclorito de sodio al 2%, luego fueron enjuagados 2 o 3 veces en vasos de precipitado con agua estéril para eliminar el exceso de hipoclorito de sodio, una vez enjuagados se colocaron en papel estéril para absorber el exceso de agua.

d) Se realizaron cortes (1-3 mm) con bisturí y tijeras de jardinería en tejidos de hojas, tallos, raíces y coronas, para mostrar los tejidos con una parte enferma y otra sana.

e) Por último, las porciones de tejido seleccionados fueron sembradas en placas Petri con medio de cultivo Papa-Dextrosa-Agar (PDA).

f) El tejido restante se colocó en recipientes plásticos desinfectados con alcohol al 70%, y se colocaron dentro del recipiente toallas de papel esterilizado previamente, se humedecieron con agua estéril y se colocaron los tejidos seleccionados dentro del recipiente (cámara húmeda) con la finalidad de promover la esporulación de las áreas enfermas.

g) Una vez ocurrida la esporulación se realizó la identificación de los patógenos presentes en tejidos de las cámaras húmedas, colocando micelio en un portaobjetos y observando en microscopio.

### **c. Aislados monospóricos**

Se seleccionaron de cada parcela los aislados de aquellos patógenos predominantes, de ellos se tomó una caja petri representativa tomando en cuenta aspectos como la región y la predominancia del patógeno. Una vez seleccionados, se realizaron cultivos monospóricos, para lo cual se preparó un medio de cultivo agua agar (A.A.). Se realizaron diluciones de cada patógeno seleccionado colocando un disco de cultivo en un tubo de ensaye con 5-9 ml de agua estéril y se le dio vortex por 1 minuto para una dilución óptima. Con una micro pipeta se colocaron 4 gotas de la dilución en las cajas petri para que mediante un movimiento a la caja esta fuera distribuida en líneas para facilitar la ubicación de los conidios (Choi et al., 1999).

Finalmente, se dejó reposar durante 24 h a temperatura ambiente, para que el hongo desarrollara conidios, una vez finalizado ese tiempo se procedió a la extracción de un solo conidio con ayuda de una jeringa ultra fina, el conidio extraído se colocó en caja petri con medio PDA, una vez terminado ese proceso se procedió a realizar preparaciones en portaobjetos para realizar análisis morfológico utilizando un microscopio compuesto (Choi et al., 1999).

Los aislamientos de tejido y monospóricos, se respaldaron en viales con glicerol al 30%, también se colocó papel filtro previamente esterilizado a las cajas Petri después de haber realizado el respaldo en glicerol, el papel se agregó para permitir que el hongo colonizara y poder obtener un respaldo de estos en viales vacíos. Los respaldos monospóricos y de papel filtro se conservan en refrigeración a -20 °C y los de tejido estéril se conservan a 4 °C (Choi et al., 1999).

#### **d. Identificación morfológica**

Se observaron las características del crecimiento del hongo en el medio de cultivo, así como sus características morfológicas en el microscopio compuesto (Choi et al., 1999).

Se realizaron preparaciones en portaobjetos con micelio de los cultivos monospóricos obtenidos. Para la caracterización morfológica de *Pestalotiopsis* se incluyeron aspectos como número de células conidiógenas, número de septos, coloración de

células del centro, coloración de células apicales y basales, número de apéndices apicales y basales, tamaño de células conidiógenas y tamaño de apéndices (Borrero, 2018). Para el caso de botryosphaeriaceae se colocaron acículas de pino esterilizadas en autoclave, una vez esterilizadas se colocaron en placas de caja petri que contenían medio agua agar, luego fueron inoculadas con tapones miceliales de 5 mm. Transcurrieron de una a dos semanas para que se formaran los picnidios externos superficiales que podían observarse bajo el microscopio y de esa forma definir sus características, entre ellas el número de células, elipsoides, hialinos lisos y de paredes delgadas, forma del ápice y base truncada (Phillips et al., 2013), también se tomó en cuenta el ancho y largo de los conidios (Slippers y Wingfield, 2007). Finalmente, para la descripción morfológica de *Fusarium* spp se consideraron aspectos como número de septos, color de la colonia y color de micro conidios o macro conidios (Liu et al., 2014).

#### **e. Análisis de sustratos**

El análisis de sustrato se realizó en las muestras de las 32 parcelas, considerando unas muestras de sustrato con planta sana y otra con planta enferma. En ambos casos fueron muestras compuestas formadas por 5 puntos al azar, para obtener muestras representativas de toda la parcela. La muestra de planta enferma se tomó donde había síntomas de marchitez en el tallo, extrayendo 10 cm de grosor de los cuatro lados del contenedor y abarcando todo el perfil del sustrato. El volumen final de cada muestra compuesta fue de 3 litros para permitir el análisis completo de las propiedades físicas y químicas.

#### **f. Variables físicas**

La curva de retención de agua se obtuvo siguiendo la metodología De Boodt et al. (1974). El agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua difícilmente disponible (ADD) se obtuvieron a través de los datos de la curva de retención de agua (CRA), aplicando tensiones a 0, 10, 50 y 100 cm de columna de agua. Para ello, se

utilizó un equipo de succión de embudos Büchner que tienen una placa de porcelana porosa de 8 cm de diámetro y 10 cm de altura con un volumen entre 500-550 cm<sup>3</sup>.

Cada embudo estaba conectado a una manguera de hule, la cual se llena con agua; con esta manguera móvil se aplican las diferentes alturas de columna de agua para generar la tensión necesaria. Cada muestra de sustrato fue colocada por triplicado en los embudos, los cuales se llenan con sustrato reproduciendo las condiciones de acomodo a las que se tienen en campo, posteriormente se satura con agua y se deja reposar durante 12 h, se ajusta el punto de saturación y se toma la primera muestra que correspondía a tensión 0. La muestra de sustrato se colocó en envases de aluminio previamente pesados, se registró su peso húmedo en una báscula digital y se colocaron en estufa a temperatura de 100-105 °C durante 72 h o hasta conseguir peso constante. Finalmente se registró peso seco de cada muestra, el tiempo de succión promedio fue de 15 a 36 h, en las tensiones de 10, 50 y 100 cm se realizó el mismo procedimiento.

Con los valores obtenidos se determinó capacidad de aireación (CA) por diferencia de porosidad total y contenido de agua a 10 cm de tensión, agua fácilmente disponible (AFD) por diferencia del agua retenida a 10 y 50 cm de tensión, agua de reserva (AR) entre 50 y 100 cm de tensión, agua difícilmente disponible (ADD) que es el agua retenida a tensiones superiores a 100 cm de tensión, y agua total disponible (ATD) que corresponde a la suma de AFD y AR.

#### **g. Variables químicas**

Se colocó sustrato en un envase de 1 L, se adicionó agua destilada hasta obtener el punto de saturación, una vez transcurridas 24 h, se drenó el agua obteniendo así el extracto de saturación de cada muestra para realizar las pruebas químicas como pH, conductividad eléctrica y concentración de nutrimentos (N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn Zn, Cu y B).

#### **h. Determinación de pH y CE**

Para la determinación de ambos parámetros, se utilizó un potenciómetro marca Hanna HI991301 que fue calibrado previamente y luego se sumergió el electrodo en el extracto de cada muestra.

#### **i. Determinación de niveles de nutrientes**

La determinación de la concentración nitrógeno en forma  $\text{NH}_4$  o  $\text{NO}_3$  se realizó por el método Kjeldahl utilizando un destilador por arrastre de vapor (Jones, 1991). También, del extracto de saturación se determinó la concentración de fósforo por colorimetría (método de molibdovanadato) (Estrin et al., 1970) midiendo absorbancia a 420 nm en un espectrofotómetro de luz UV visible (Thermo Scientific modelo Genesys 10S), la concentración de K y Na se midió por flamometría en un equipo marca Sherwood modelo M410, mientras que la concentración de Ca, Mg, Cu, Fe y Zn se determinó por espectrofotometría de absorción atómica en un equipo marca GBC modelo Avanta.

Se analizaron las propiedades fisicoquímicas por tipo de sustrato, por edad y por condición sana o enferma utilizando el análisis de comparación de medias (Tukey Test,  $P \leq 0.05$ ) utilizando el paquete SAS (Versión 9.4).

#### **j. Correlaciones entre propiedades fisicoquímicas e incidencia y severidad** **Análisis de correlación de Pearson**

Se realizó un análisis de correlación de Pearson únicamente para las parcelas en las con síntomas en tallo, se analizaron todas las variables fisicoquímicas involucradas para identificar si el nivel de correlación era diferente de cero, esto se obtuvo al observar el valor de probabilidad, que menciona: Si la probabilidad es menor a 0.05 entonces el coeficiente de correlación es diferente de cero o si la probabilidad es mayor a 0.05 entonces el coeficiente de correlación es igual a cero.

El hecho de que la correlación fuera diferente de cero no garantizaba que la correlación fuera significativa por lo que, después de identificar lo anterior se identificó en cada interacción el valor del coeficiente de correlación mayor o igual a 0.65 y menor o igual a -0.65 y de este modo decidir si la correlación era significativa o no.

## **Análisis de correlación de componentes principales**

Se realizó un análisis componentes principales (Bro & Smilde, 2014) para las parcelas en las cuales los síntomas fueron en tallo, se analizaron todas las variables fisicoquímicas involucradas para identificar si el nivel de correlación era significativo.

### **3.8. Resultados**

#### **3.4.1 Diagnóstico de agentes causales asociados a sintomatologías de tallo**

Los tejidos con síntomas de tizón de tallos y marchitez de puntas generaron micelio aéreo de forma rápida, inicialmente con un color blanco y luego se volvió de un tono crema (Figura 1 a), luego se observaron acérvulos color negro intenso aún después de 7 días. Los conidios tenían la célula apical y basal incoloras, de forma triangular, mientras que las 3 células centrales iban de color amarillo claro a marrón oscuro (Figura 1 b). Los conidios (n=100) tenían en promedio 20.96 (12.29-27.15) x 8.03 (4.94-11.83)  $\mu\text{m}$ . Todos los conidios tenían de 1 a 2 apéndices basales, la mayoría tenía 1 con un promedio de 5.78  $\mu\text{m}$  (3.39-8.07), también tenían de 2 a 4 apéndices apicales con un promedio de 29.50  $\mu\text{m}$  (4.1-49.08). Según las características observadas, los conidios se asociaron morfológicamente al género *Pestalotiopsis* (González et al., 2012; Xu et al., 2015 y Xue et al., 2018).

El micelio de *Fusarium* spp fue de color rosa claro a morado (Figura 1 c). Los conidios eran hialinos, los inmaduros no tenían septos y los maduros tenían de 1 a 5 septos, de largo medían de 5.34 a 18.78  $\mu\text{m}$  y de ancho de 2.27 a 4.84  $\mu\text{m}$  (Figura 1 d) (Liu et al., 2014).

El micelio de *Lasiodiplodia* spp. y *Neofussicoccum* spp. fue de color blanco a gris y finalmente fue color negro. Después de promover la esporulación se desarrollaron picnidios negros en las acículas (Figura 1 e). Los picnidios generaron una masa de conidios grises a su alrededor, los conidios eran elípticos, los inmaduros eran hialinos (Figura 1 f), el tamaño de los conidios era de 14 a 28  $\times$  10 a 26  $\mu\text{m}$ , los conidios maduros tenían un septo al centro y eran de color marrón oscuro (Figura 1 f); los

conidios aislados con esas características se asignaron morfológicamente al género *Lasiodiplodia* (Zhao et al., 2019).

Finalmente, al género *Neofusicoccum* se asignaron morfológicamente aquellos aislamientos en los que los picnidios generaron conidios unicelulares hialinos, elipsoidales, fusiformes y con ápice obtuso (Phillips et al., 2013) con medidas promedio de  $1.75 \mu\text{m}$  (1.14 a 2.12) x  $0.92 \mu\text{m}$  (0.71 a 1.92) (Figura 1 h).

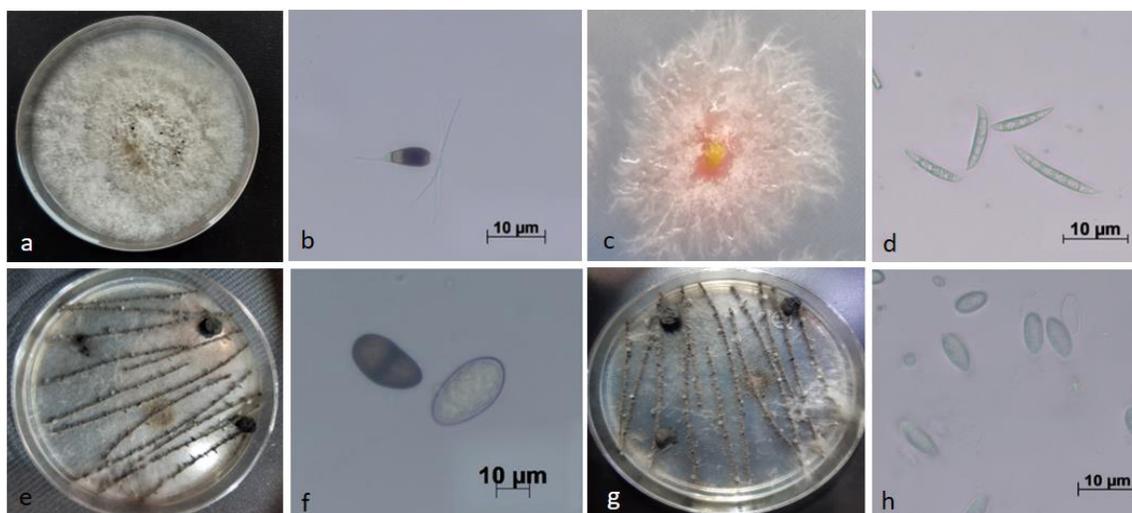


Figura 1. Crecimiento micelial de *Pestalotiopsis* sp. en medio papa dextrosa agar (PDA), b) morfología conidial, c) crecimiento micelial de *Fusarium* sp en medio PDA y d) conidios del género, e) crecimiento de *Lasiodiplodia* spp en acículas de pino en medio PDA y f) conidios formados en las acículas, g) crecimiento de *Neofusicoccum* sp. en medio PDA y h) conidios hialinos del género.

Los análisis realizados a los tallos con síntomas de muerte regresiva de ramas y tizón de tallo en las diferentes parcelas demostraron la presencia de los géneros *Pestalotiopsis* sp, *Lasiodiplodia* sp, *Neofossicoccum* sp y *Fusarium* sp. En las parcelas en las que las enfermedades predominantes se manifestaban en el tallo (n=16) en el 93% se aisló *Pestalotiopsis* sp, en el 40% se encontraron Botryosphaeriaceas, en el 26% se encontró *Fusarium* sp y finalmente se aisló en el 20% *Alternaria* sp; todos estos patógenos fueron aislados del tallo, en un solo caso fue aislado de la raíz. También se

observaron otros síntomas importantes en campo como manchas foliares, las cuales fueron predominantes en 16/32 parcelas.

En conclusión, *Pestalotiopsis* sp se aisló de síntomas como el tizón de tallo que iniciaba con una coloración verde oliva generalizada que después se tornaba amarillenta pasando a marrón claro y finalmente a marrón oscuro (Figura 2). También este patógeno se aisló del síntoma de marchitez de puntas, que generalmente iniciaba en la punta del tallo con un color café claro a café oscuro, proliferando de forma descendente hasta marchitar todo el tallo como se observa en la Figura 3. En el caso de *Botryosphaerias*, este patógeno fue aislado de aquellos tallos con muerte descendente, que se caracteriza por ser una necrosis que inicia en la zona de poda (Figura 4), también de esos mismos síntomas fueron aislados *Alternaria* y *Fusarium*. Es importante señalar que *Botryosphaerias*, *Alternaria* y *Fusarium* no se observaron causando daños de forma independiente, sino que en todos los casos se asociaban con *Pestalotiopsis*.



Figura 2. a) Síntomas iniciales de tizón de tallo causados por *Pestalotiopsis* sp, ramas color oliváceo y follaje enrollado, b) marchitez por daño vascular del patógeno, ramas color marrón claro, c) ramas secas color marrón oscuro y d) avance del 50% de tallos afectados por este patógeno.



Figura 3. a, b y c) Síntomas de marchitez de puntas causada por *Pestalotiopsis* sp y progreso de la enfermedad.



Figura 4. a) Síntomas internos de muerte descendente causada por *Pestalotiopsis*, *Botryosphaerias* y *Alternaria* spp, b) acérvulos en tallo de arándano y micelio blanco algodonoso característico de *Pestalotiopsis*, c) síntomas de muerte descendente en tallo, d) inicio y avance de necrosis característica de muerte descendente.

### 3.4.2 Información general del sistema de producción en sustratos

El volumen de contenedor varía de 25 a 38 litros, el número de goteros por contenedor es de 2 o 4, o bien 1 gotero con 4 piquetas/contenedor, el porcentaje de drenaje es de 25 a 40%, planta obtenida de Fall Creek y Black Venture únicamente, la densidad de plantación varía 5,000 a 27,000 plantas/ha con una distancia de 40 a 100 cm entre plantas y distancia entre surcos de 1.7 a 2.4 m. La poda de renovación se realiza durante los meses de abril a julio; por último, los fungicidas más utilizados para control de enfermedades de tallo son azoxistrobin, carboxamida, boscalid, pyraclostrobin, propiconazol, cyprodinil, fludioxinil, octanoato de cobre y *Bacillus subtilis*.

### 3.4.3 Diagnóstico de sustratos y sus propiedades fisicoquímicas

La frecuencia en la que se encontraron los diferentes materiales, la proporción y un número asignado para identificar cada sustrato se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Mezcla de materiales utilizados como sustratos, proporción de la mezcla, frecuencia y el número asignado.

Número asignado	Mezcla de materiales del sustrato	Proporción	Porcentaje
1	Fibra de coco y microchips	1:1	60
2	Turba, fibra de coco y perlita	1:1:1	19
3	Turba, fibra de coco y perlita con 10% como base de tezontle	1:1:1	9
4	Turba, fibra de coco y perlita con 30% como base de tezontle	1:1:1:1	9
5	Turba, fibra de coco y tepojal	1:1:1:2	3

#### 3.4.4 Propiedades físicas del sustrato

En el Cuadro 6 del Anexo 1 se muestran los resultados de los análisis de varianza entre sustratos para las diferentes propiedades físicas determinadas. En general, los análisis de varianza mostraron diferencias significativas entre las propiedades físicas de los diferentes sustratos utilizados.

Los resultados de la agrupación de medias entre propiedades físicas y sustratos se mencionan en el Cuadro 7 del anexo 1, el análisis de medias por edad del sustrato y propiedades físicas se muestra en el Cuadro 8 del Anexo1.

Los valores recomendados para propiedades físicas son densidad aparente  $<0.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , densidad real de  $1.45\text{-}2.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $>85\%$  de espacio poroso total, 15-30% en capacidad de aireación, 20-30% de agua fácilmente disponible, 4-10% agua de reserva, 25-40% agua total disponible (Abad et al., 1992; Ansorena, 1994; Blok et al., 2008).

Aunque existen diferencias en la densidad aparente entre los sustratos, los valores estuvieron dentro del intervalo óptimo ( $< 0.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) en todos los sustratos. El espacio poroso total estuvo en niveles óptimos ( $>85\%$ ) en sustratos formados por mezclas de fibra y microchips de coco, turba + fibra de coco + perlita con 30% de tezontle como

base, y turba + fibra de coco + tepojal; mientras que con valores medios (76 a 80%) se encontró el sustrato con turba + fibra de coco + perlita, y con valores medios turba + fibra de coco + perlita con 10% de tezontle como base. La capacidad de aireación en niveles óptimos (15-30%) se encontró en todos los sustratos, con excepción del sustrato turba + fibra de coco + perlita con 10% de tezontle como base, que presentó una media de 7.81%. El agua de reserva en niveles óptimos (04-10%) se encontró en todos los sustratos, pero el agua total disponible estuvo en niveles bajos (<25%) en fibra + microchips de coco y turba + coco + perlita con 30% de tezontle como base; los demás sustratos presentaron valores óptimos (25-40%) en agua total disponible (Cuadro 8).

#### **3.4.5 Propiedades químicas del sustrato**

En general, los análisis de varianza de las propiedades químicas demostraron que existen diferencias en concentraciones de nutrimentos por tipo de sustrato (Cuadro 9).

El análisis de comparación de medias (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) de propiedades químicas, por tipo y tiempo de uso (edad) del sustrato se presentan el Cuadro 10 y 11 del anexo 1.

La concentración ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) de los nutrimentos que requiere el arándano es:  $\text{NH}_4^+$  63 a 78,  $\text{NO}_3^-$  de 21 a 63,  $\text{K}^+$  de 90 a 172,  $\text{Ca}^{2+}$  de 27 a 52 y  $\text{Mg}^{2+}$  de 21 a 41, donde los valores más altos se requieren en etapa de inicio de floración;  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  38.75, Fe 2, Mn 1.5, Zn 0.15, Cu 0.1 y B 0.6 (Bolaños et al., 2019). La CE requerida para arándano está entre 0.45 y 1.5  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Gallegos et al., 2018) y el pH óptimo requerido es de 4.5-5 (Osorio et al., 2019).

En general, los nutrientes que se encontraron en niveles óptimos ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) fueron K con media de 117.62 y Mg con 81.43; con niveles bajos  $\text{NH}_4$  con 9.32,  $\text{NO}_3$  6.62, N total 15.94 y P 13.45; mientras que en niveles altos se encontraron Ca con 108.95, Cu 0.86, Mn 10.16, Fe 6.56 y Zn 3.75; aunque el pH estuvo en nivel óptimo, la CE con valor 2.33  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  estuvo por arriba del valor normal (Cuadro 10).

El contenido de  $\text{NH}_4$  en general fue bajo en todos los sustratos, 7 a  $27 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y media de 9, donde los valores más altos ( $27 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) se observaron en el sustrato turba + fibra de coco + tepojal; sin embargo, no se alcanzó el óptimo requerido de  $81\text{-}101 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de  $\text{NH}_4$  (Bolaños et al., 2019). El contenido de  $\text{NO}_3$  mostró la misma tendencia con niveles de  $4\text{-}23 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  con el valor más alto en el mismo sustrato que  $\text{NH}_4$ , pero tampoco estuvo en niveles óptimos de  $94$  a  $284 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Bolaños et al., 2019).

Los niveles de P estaban por debajo del óptimo ( $38 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en todos los sustratos, con valores de medias (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) sin diferencias estadísticas significativas (Cuadro 11 anexo 1).

La concentración de K se encontró en niveles óptimos en todos los sustratos sin diferencias estadísticas significativas (Cuadro 11 anexo 1).

En el caso de Ca y Mg los valores de concentración ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) por arriba del óptimo se presentaron en los sustratos 3 ( $197$  de Ca y  $159$  de Mg) y 4 ( $192$  de Ca y  $155$  de Mg) mientras que los sustratos con niveles óptimos de Ca y Mg fueron Fibra de coco + microchips, Turba + fibra de coco + perlita y Turba + fibra de coco + tepojal.

Los niveles bajos de Cu ( $0.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) se encontraron solo en el sustrato 1 ( $0.66$ ), los niveles altos se encontraron en los sustratos 2 ( $1.00$ ), 3 ( $1.07$ ), 4 ( $1.28$ ) y 5 ( $1.33$ ) (Cuadro 10).

La concentración de Mn, Fe y Zn en solución en todos los sustratos se encontró en niveles altos sin diferencias significativas de acuerdo a la comparación de medias Tukey ( $\alpha=0.05$ ) (Cuadro 10).

Los niveles de CE óptimos son de  $0.45$  y  $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Gallegos et al., 2018), en todos los sustratos se encontraron niveles por arriba de lo sugerido, en orden de menor a mayor está el sustrato 5 con  $1.41$ , el sustrato 2 con  $1.60$ , el 3 con  $2.26$ , el 3 con  $3.33$  y finalmente el 4 con  $3.43$  (Cuadro 10).

#### **3.4.6 Propiedades físicas y tiempo de uso (edad) del sustrato**

La prueba de comparación de medias (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) para las propiedades físicas (Cuadro 8 del anexo 1), en sustratos con diferente tiempo de uso, mostró que la densidad aparente y el agua total disponible son óptimas, mientras que el agua difícilmente disponible, la capacidad de retención de humedad fueron más altos en sustratos de 3.5 años. El espacio poroso total y la capacidad de aireación eran más altos en los primeros años (1 y 2), mientras que el agua de reserva aumento con el tiempo de uso (año 4).

#### **3.4.7 Propiedades químicas y edad del sustrato**

La prueba de comparación de medias (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) de las propiedades químicas por edad o tiempo de uso (Cuadro 11 del anexo 1) mostró niveles más altos de  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$  en los sustratos de 1 año, valores altos de Mn, Fe, Zn y pH en sustratos de 1.5 años, Mg, Na y Cu más altos en sustratos de 3.5 años, y finalmente P y CE en niveles altos en sustratos de 5 años.

#### **3.4.8 Propiedades fisicoquímicas por condición de planta sana o enferma**

De acuerdo a las pruebas de comparación de medias (Cuadro 12 y 13 del anexo 1), los resultados indicaron que no existen diferencias significativas entre condición de planta sana o enferma en propiedades fisicoquímicas. En el caso de nutrimentos se observaron niveles ligeramente más altos de N, P, K, Ca, Cu, Fe, Zn, CE y pH en plantas sanas, mientras que en enfermas se encontraron niveles altos de Mg y Mn. El nitrato, amonio y fósforo fueron más altos en sustratos de plantas sanas sin llegar a niveles óptimos, K y Ca fueron óptimos tanto en sustratos de plantas sanas como en enfermas, Cu, Fe y Zn estuvieron arriba de sus requerimientos en sanas y enfermas, pero fueron ligeramente más alto en sanas, finalmente el Mg fue óptimo tanto en sanas como en enfermas, pero fue ligeramente más alto en plantas enfermas.

Tomando como referencia los valores óptimos de propiedades físicas, se observa que la densidad aparente, espacio poroso total, agua de reserva y capacidad de aireación se encontraron en niveles óptimos en plantas sanas y enfermas, siendo ligeramente más altos en enfermas (Cuadro 13 del anexo 1). La capacidad de retención de

humedad fue óptima en plantas sanas y enfermas, pero el agua fácilmente disponible fue baja en ambas plantas, siendo más baja en sustratos de plantas enfermas. El agua total disponible fue ligeramente inferior a los niveles óptimos en ambas condiciones, siendo más baja en sustratos de plantas enfermas, lo que es acorde al agua difícilmente disponible que estuvo arriba del óptimo en ambas condiciones siendo más alta en sustratos de plantas sanas, y con el agua total disponible ligeramente más baja del óptimo, siendo más alta en sustratos de plantas sanas.

### 3.4.9 Correlaciones de Pearson

Las variables que mostraron correlaciones moderadamente significativas en parcelas con síntomas de enfermedad en tallo se muestran en el Cuadro 14 del anexo 2 y fueron las siguientes:

- Na-P
- P-Cu \*\*
- Mg-Ca
- Zn-Mn
- Zn-Fe
- CE-Mg
- Cu-EPT\*\*
- K-Edad
- Cu-Tejido \*\*
- Sustrato-Dap
- Variedad-Dap
- AFD-CRH
- Densidad-Patógeno

\*\*Correlación negativa

Otras variables que mostraron correlaciones bajas con incidencia de la enfermedad se muestran en el Cuadro 15 del anexo 2 y fueron las siguientes:

- Incidencia- densidad
- Incidencia- variedad
- Incidencia- patógeno
- Incidencia- sustrato
- Incidencia- DAP
- Incidencia- CRH
- Incidencia- AFD
- Incidencia- Ca
- Incidencia- Mg
- Incidencia- Tejido

### 3.4.10 Correlaciones de componentes principales

Las variables que más contribuyeron a la varianza de datos se muestran en la Figura 5.

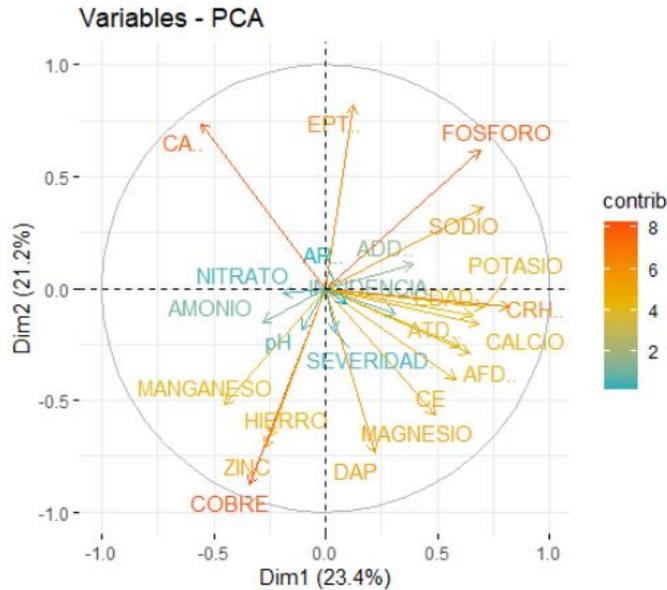


Figura 5. Análisis de correlación entre propiedades fisicoquímicas del suelo con incidencia y severidad de enfermedades de tallo.

El primer componente estuvo conformado por las variables: potasio, fósforo, CRH, sodio, edad, calcio, ADD, AFD; en el segundo componente principal, es cobre, hierro, zinc, DAP, EPT, CA; el componente principal 3, estuvo representado por el amonio, nitrato, pH, AR, ATD y ADD, y el componente 4 se ubicó con menor contribución a la varianza la incidencia, severidad, con 4 componentes se obtuvo el 60% de la varianza total (Cuadro 16, Anexo 2).

Alcanzando un nivel de correlación positivo alcanzando un nivel de varianza <60 %, en el componente 1 se encontró CRH (0.82), potasio (0.71), sodio (0.70), fosforo (0.69), calcio (0.68), ADD (0.65), ATD (0.6) y CE (0.58), las correlaciones son positivas, al incrementar una incrementan las demás, esto además indica que ni la incidencia ni la severidad están relacionados al menos con el 60% de variabilidad de los datos (Cuadro 17, Anexo 2).

En el componente 2 las variables encontradas con niveles de correlación >70% fueron Cobre (-0.88), EPT (0.82), DAP (-0.73), CA (0.73), Zinc (-0.71) y Hierro (-0.66), es decir

que cuando algunas aumentan las otras (negativas) tienden a disminuir (Cuadro 17, Anexo 2).

El tercer componente, estuvo más relacionado con: AR (0.73), pH (-0.63), Nitrato (0.62) y ADD (-0.57) (Cuadro 17, Anexo 2).

El componente 4, estuvo representado por la incidencia y severidad, pero ya con una menor contribución (Cuadro 17, Anexo 2).

### 3.5. Discusión

En México, de acuerdo a la alta demanda de frutillas en los últimos años, se espera que los productores desarrollen proyectos de expansión del cultivo de arándano en entidades que tengan temperaturas óptimas y periodos estacionales aprovechables (Lagunes et al., 2020). Sin embargo, existen limitaciones para el desarrollo de este cultivo, en un principio el alto costo para instalar una parcela de arándano, el desconocimiento sobre los mejores sistemas de producción, en especial el uso de suelo o sustrato para su cultivo y los requerimientos nutrimentales. El cultivo en suelo puede resultar menos costoso, aunque se corre el riesgo de que este transmita enfermedades a la planta y finalmente, la poca información generada en el país respecto a las plagas que se presentan en arándano provoca incertidumbre en los nuevos productores e incluso en aquellos que ya llevan algunos años trabajando este cultivo, ya que el más mínimo impacto en la producción se traduce en pérdidas económicas considerables para el productor.

Los resultados de esta investigación permitieron identificar las tecnologías de producción más utilizadas por los productores de arándano en la región occidente del país, también se confirmó la prevalencia de enfermedades causadas principalmente por hongos patógenos. El estudio reveló principalmente la presencia de enfermedades en tallos y hojas. Los resultados de los análisis fitopatológicos muestran que el tizón de tallo, marchitamiento o muerte de puntas y muerte regresiva de tallos, son las enfermedades más comunes en tallo, y las manchas circulares color marrón y manchas irregulares color negro en el centro y en los bordes de la hoja son las enfermedades foliares más comunes. La caracterización morfológica permitió identificar a *Lasiodiplodia* spp., *Neofusicoccum* spp., *Pestalotiopsis* spp. y *Fusarium* spp. en tallos. Muchos estudios han informado sobre la patogenicidad de estas especies en arándano y en otras plantas (González et al., 2012; Rebollar et al., 2013; Usted, 2014; Zheng, 2015).

En trabajos anteriores, se ha reportado el tizón de tallo, muerte regresiva y marchitez en arándano y se han identificado como agentes causales a los géneros *Pestalotiopsis* spp., *Neofusicoccum* spp., *Lasiodiplodia* spp. y *Phytophthora*. La identificación de los agentes causales permitirá desarrollar investigación que aporte mejores estrategias de prevención y control (Rebollar et al., 2013).

Las propiedades físicas en niveles óptimos sugeridos (Abad et al., 1992; Ansorena, 1994; Blok et al., 2008) se enlistan en el Cuadro 5, esta información brinda un panorama de cuales sustratos contienen la mayor proporción de propiedades físicas idóneas, donde el sustrato conformado por turba + fibra de coco + tepojal reunió todos los niveles óptimos de propiedades físicas, por lo que se sugiere realizar mayor investigación de estos materiales como sustratos.

Cuadro 5. Propiedades de los sustratos en niveles óptimos, altos y bajos

<b>Sustrato</b>	<b>Niveles óptimos</b>	<b>Niveles altos</b>	<b>Niveles Bajos</b>
Fibra de coco y microchips	DAP, CRH, EPT, CA, AR		AFD, ATD
Turba, fibra de coco y perlita	DAP, CRH,CA,AR Y ATD		EPT, AFD
Turba, fibra de coco y perlita con 10% como base de tezontle	DAP,CRH,AR, ATD	CA	EPT, AFD
Turba, fibra de coco y perlita con 30% de tezontle como base	DAP,CRH, EPT, CA, AR		AFD, ATD
Turba, fibra de coco y tepojal	DAP, CRH, EPT, CA, AFD, AR, ATD		

DAP: Densidad aparente, CRH: Capacidad, EPT: Espacio poroso total, CA: Capacidad de aireación, AR: Agua de reserva, AFD: Agua fácilmente disponible, ATD: Agua total disponible.

Los niveles de propiedades físicas en general se encontraron en niveles óptimos sin diferencias significativas por edad, por tipo de sustrato y por condición sana o enferma.

Se encontraron niveles bajos de  $\text{NH}_4$  con  $9.32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de las  $63\text{-}78 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  requeridas y  $6.62 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3$  de  $21$  a  $63 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  requeridas (Bolaños et al., 2019). El pH ácido suprime la nitrificación microbiana, lo que resulta en una acumulación de amonio y una

disminución de nitrato en el suelo (Hachiya & Sakakibara et al., 2017), por ello, la baja concentración de  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$  no puede explicarse por el valor de pH, probablemente se debe a una baja aplicación de N en las parcelas muestreadas. Algunas plantas cultivadas en condiciones de baja disponibilidad de N se defienden mejor contra los patógenos porque hay un aumento en la síntesis de compuestos relacionados con la defensa (Dordas, 2008).

Los niveles encontrados para Mg fueron altos con un promedio de  $81 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de las 21 a  $41 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  requeridas (Bolaños et al., 2019). Los niveles óptimos de Mg en arándano podrían contribuir a las respuestas fisicoquímicas de defensa que dependen de niveles adecuados de Mg (Huber y Jones, 2013).

Los niveles de Ca obtenidos fueron altos con una media de  $108 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de las 27 a  $52 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  sugeridas para arándano (Bolaños et al., 2019). El contenido de Ca en niveles óptimos puede reducir la incidencia y severidad de enfermedades foliares, por lo que este nutriente puede recomendarse para el manejo indirecto de algunas enfermedades (Catarino et al., 2016).

La acidez del suelo limita la disponibilidad y absorción de Mg, Ca y P (Huber et al., 2013), lo que es acorde con los niveles bajos de P encontrados en casi todos los sustratos, pero no los podría explicar los niveles ligeramente altos de Mg y Ca, lo que se explicaría por la mayor aplicación en relación a la demanda. El contenido de P,  $13.45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , por debajo de los niveles óptimos  $38.75 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  recomendados por Bolaños et al. (2019) podría aumentar infección por hongos de raíz como *Rhizoctonia* (Davey et al., 2021). También se ha comprobado que el nivel alto de Ca y Mg es causado por la aplicación excesiva de fertilizantes que conduce a altas concentraciones de nutrientes en el medio de crecimiento (Messiga et al., 2020).

La toxicidad por Mn y Fe es relativamente común en cultivos con pH bajo (Bryla et al., 2015 y Fulcher et al., 2015), en este caso, los niveles altos de Mn y Fe se debe mayormente a las soluciones nutritivas de aporte, aunque el pH ácido del sustrato en

cultivo de arándano mantiene estos micronutrientes en disponibilidad (Messiga et al., 2020).

La concentración  $6.56 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de Fe es alta en relación al promedio de  $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  sugerida (Bolaños et al., 2019), el Fe en cantidades normales e incluso bajas reduce la infección de patógenos necrotróficos, el nivel alto de Fe tendría implicaciones de promoción en infecciones de patógenos (Kieu et al., 2012).

La concentración promedio de  $10.16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  en Mn está muy arriba de  $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  considerada óptima para el cultivo de arándano (Bolaños et al., 2019). En este caso, una alta concentración de Mn reduce la tasa de crecimiento de algunos cultivares de arándano (González, 2021).

La concentración de Zn fue de  $3.75 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , valor muy por arriba de  $0.15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  requeridas para arándano (Bolaños et al., 2019). El Zn a niveles altos puede provocar inhibición del crecimiento de las raíces y morfología anormal de pelos radicales (Balafrej et al., 2020), que en arándano de pos sí están en cantidad muy baja (Retamales y Hancock, 2018).

Los niveles de Cu en  $0.86 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  en la solución del sustrato están por arriba del valor recomendado  $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  para arándano (Bolaños et al., 2019). En niveles excesivos este nutriente causa clorosis intervenal, crecimiento reducido, puede causar necrosis en las hojas, que podría confundirse con ataque de patógenos (Tsonev & Cebola, 2012). El pH ácido permite una buena absorción de Cu, sin embargo, también ese pH limita la absorción de Ca y Mg, y el contenido de Cu tiende a aumentar cuando hay altas concentraciones de Ca y Mg (Adrees et al., 2015).

La mayoría de estos parámetros están relacionados directa e indirectamente con la presencia de enfermedades. Los niveles óptimos de K promueven paredes celulares gruesas y fortaleciendo los tallos, de esa forma disminuye la intensidad de enfermedades infecciosas de parásitos obligados y facultativos (Gupta et al., 2017). Los parámetros en niveles bajos como el pH ácido retrasan procesos como la

germinación, el crecimiento de hifas y la formación de cuerpos fructíferos para una infección exitosa (Vylcova, 2017), el bajo contenido de N podría provocar menor susceptibilidad de infección por parásitos obligados pues a altas tasas de N aumenta la síntesis de compuestos que son aprovechados por parásitos (Gupta et al., 2017) y finalmente el P en niveles bajos no proveerá resistencia local contra patógenos transportados por el aire (Gupta et al., 2017). El Mn a niveles altos reduce tasa de crecimiento relativo de plantas de arándano (González et al., 2021), una alta concentración de Mg contribuirá a la producción de respuestas físicas y químicas para reducir infecciones de patógenos al participar en la captación de energía suficiente en la fotosíntesis (Huber y Jones, 2013), altas concentraciones de Zinc provocan clorosis, inhibición del crecimiento de las raíces y morfología anormal de los pelos radiculares (Fukao et al., 2011) y finalmente el alto nivel de Cu aplicado al suelo puede disminuir la gravedad de enfermedades en las hojas, lo cual podría ser beneficioso para el arándano (Huber et al., 2012).

En la mayoría de los sustratos no existieron diferencias significativas por su condición de planta enferma o sana. Al relacionar esta condición con las propiedades de los sustratos se observó también que la densidad aparente fue óptima en todos los sustratos. Otros estudios (Ownley et al., 1990) reportan que, en sustratos con plantas sanas la densidad aparente correlacionó positivamente con esta condición, mientras que con porosidad total se correlacionó negativamente, observándose menor porosidad en sustratos con plantas enfermas, encontrándose que este parámetro estaba por debajo de los niveles óptimos en las plantas enfermas, lo cual se confirma en este estudio pues se encontraron mayores valores de espacio poroso total y capacidad de aireación en sustratos de plantas sanas. Por otra parte, la retención de agua fue mayor en sustratos con plantas sanas (Ownley et al., 1990), eso también se confirmó pues la capacidad de retención de humedad se encuentra en niveles óptimos en todos los sustratos, pero con niveles más altos en sustratos con plantas sanas.

Los análisis de correlación de Pearson se realizaron con la expectativa de que existieran correlaciones significativas entre las propiedades físicas y químicas del

sustrato con la incidencia y severidad de las enfermedades, sin embargo, las correlaciones entre estos factores no fueron significativas, las que fueron moderadamente significativas fueron relaciones de antagonismo y sinergismo de nutrientes con propiedades físicas del sustrato, corroborando de esta forma lo mencionado por diversos autores (Pii et al., 2015; Dordas, 2008 y Li et al., 2018).

Las interacciones moderadamente significativas permitieron demostrar que cantidades excesivas de P reducen la absorción de micronutrientes catiónicos como Fe, Mn, Zn y Cu (Malvi, 2011), que en este caso resultó una correlación negativa entre P y Cu.

En arándano, el Mn tiende a aumentar cuando el contenido de Zn aumenta (Li et al., 2018), lo que podría originarse desde el medio de crecimiento cuando existe correlación significativa positiva entre estos elementos, como fue observada.

En arándano se han encontrado coeficientes de correlación significativos entre el contenido Mg-Fe, Mg-Zn, Fe-Zn y Ca-Mg (Li et al., 2018). En los análisis realizados en los sustratos, se detectó correlación positiva entre Fe-Zn, Fe-Ca y Fe-Mg.

La correlación Cu-tejido, revela que a diferentes dosis de Cu el síntoma de enfermedad se presenta en diferente zona del tejido (marchitez de punta ó tizón de tallo y muerte descendiente, a mayor dosis de Cu el síntoma era tizón de tallo y marchitez de punta en arándano y a menor dosis de Cu el síntoma predominante era muerte regresiva, esto coincide con Huber et al. (2012) donde se menciona que el Cu aplicado al suelo o foliar tiene impacto en el nivel de infecciones por patógeno en la parte aérea de las plantas.

La relación patógeno-densidad de plantas reveló que a mayor densidad mayor es el número de agentes causales aislados en los tejidos enfermos, eso concuerda con investigaciones en los que se obtuvieron resultados donde la densidad de plantas estaba relacionada positivamente con los niveles de enfermedad en plantas (Wilkinson et al., 2011; Thrall et al., 2001).

La relación Variedad-Densidad aparente (Dap) demostró que la variedad de arándano plantada tiene una interacción positiva con la densidad aparente del sustrato. En estudios en arándano se comprobó que hubo mayor producción de masa de raíces en cultivares de arbusto alto en comparación con cualquiera de ojo de conejo (Korcak, 1992), también ha sido documentado que las raíces de las plantas modifican la estructura del suelo (Torres et al., 2013). En este estudio la menor densidad aparente se observó en sustratos donde crecían las variedades Victoria y Biloxi (Vigorosa y extensa) seguidas de Atlas (Vertical), Arana, Kirra y Júpiter (Compactos y redondeados) y finalmente la que tuvo mayor Dap fue la variedad Bianca (Abierta y extensa).

La relación EPT-Cu tuvo una relación negativa a medida que el EPT disminuía el Cu aumentaba. El espacio poroso total puede ser modificado por la fisiología de la planta, la raíz es el órgano que más cobre concentra (Matsuoka et al., 2018). Probablemente el crecimiento normal de la raíz provocaría modificaciones en el EPT del sustrato por lo cual este parámetro disminuyo (Matsuoka et al., 2018 y Cannavo et al., 2011).

La relación Sustrato-Dap mostró que el sustrato fibra de coco + microchips tiene menor Dap, seguida de la mezcla de turba+fibra de coco+agrolita y peatmoss+fibra de coco+agrolita con 10% tezontle en la base del contenedor, esto concuerda con lo mencionado por Noguera et al. (2003) que la densidad aparente disminuye al aumentar el tamaño de partícula del sustrato, evidentemente los microchips mezclados con fibra de coco eran partículas de mayor tamaño.

La relación CE-Mg fue positiva, a medida que la CE aumentaba el contenido de Mg también aumentaba por lo que se confirma lo observado por Amalfitano et al. (2017).

La relación K-Edad del sustrato fue positiva, a mayor edad de la planta mayor concentración de K en la solución del sustrato. La absorción de la mayoría de los nutrientes por parte de las plantas aumenta durante la temporada de crecimiento, sin embargo, la absorción de K, Mg, Mn y Zn es mayor al final de la temporada (Bryla et

al., 2012). También en esa investigación que duró 2 años, se observó que el contenido de K aumentó gradualmente al transcurrir el tiempo. En esta investigación el K se encontró en niveles óptimos en la mayoría de parcelas, y no se observó alguna interacción de K con otra variable.

Para la relación Na-P existió un coeficiente de correlación positiva lo cual concuerda con lo reportado por Pii et al. (2015).

Los niveles de incidencia de patógenos estuvieron ligeramente correlacionados con los nutrientes Ca y Mg de manera positiva; el Mg actúa como cofactor de los diversos procesos fisiológicos que involucran la defensa y el Ca está involucrado en el reconocimiento de invasores a través de la membrana y tiene funciones de estabilización de la misma (Huber y Jones., 2013; Huber et al., 2012); sin embargo, las altas concentraciones de Ca y Mg aumentan la producción y agregación de zoosporas y la incidencia de diversos patógenos, pero su relación con los nutrientes es diferente dependiendo del tipo de planta (Broders et al., 2009).

La correlación Densidad-Incidencia fue positiva, a mayor densidad de plantas había mayor presencia de enfermedades afectando el tallo, esta relación permitió confirmar investigaciones en donde se menciona que a mayor densidad de plantas existen mayores niveles de enfermedades en cultivos (Wilkinson et al., 2011 y Thrall et al., 2001), donde a partir de 16,000 plantas por ha, la incidencia aumentaba considerablemente.

La correlación que involucra Dap-Incidencia mostró que a mayor densidad aparente mayor era el porcentaje de incidencia de la enfermedad, esto concuerda con la investigación de Pérez et al. (2014) que mencionan que el aumento en la densidad aparente del suelo aumenta la severidad de enfermedades. También hubo correlación entre sustrato e incidencia, siendo el sustrato que tenía mayor Dap el que presentó mayores niveles de incidencia, ese sustrato estaba formado por turba + fibra de coco + perlita.

La correlación variedad-incidencia fue positiva, al cambiar de variedad cambiaba el nivel de incidencia; se ha demostrado que diversos factores afectan la infección por *Botryosphaerias* en arándano, entre ellos, el tipo de hospedador (Tennakoon et al., 2018).

La relación incidencia-patógeno permitió observar que la incidencia de la enfermedad fue mayor cuando se trataba del patógeno *Fusarium* sp seguido del complejo *Fusarium* sp., *Pestalotiopsis* sp. y *Alternaria* sp. y finalmente *Pestalotiopsis* sp, *Botryosphaerias* y *Alternaria* sp.

Finalmente, en la relación incidencia-tejido se encontró que existía mayor nivel de incidencia de muerte regresiva que de tizón de tallo y muerte de puntas.

Los análisis de componentes principales se realizaron con la intención de encontrar correlaciones más significativas entre las propiedades físicas y químicas del sustrato con la incidencia y severidad de los patógenos, sin embargo, la correlación entre estos factores mediante este análisis demostró que la incidencia y severidad tuvieron menor contribución a la varianza, los que fueron altamente significativas fueron relaciones entre entre propiedades físicas del sustrato y los nutrientes.

El componente principal 1 estuvo conformado por fósforo, potasio, calcio, sodio, CE, ADD, CRH y ATD. Las variables químicas se correlacionaron de forma positiva, lo cual indica que al aumentar una de estas variables las otras tienden a aumentar, comprobando que las reacciones sinérgicas entre estos nutrientes son muy comunes (Pii et al., 2015; Bryla et al., 2012); en el caso de las variables físicas, la mayor correlación se observó entre CRH y Potasio, lo que se explica por la alta solubilidad de este catión en sustratos orgánicos (Raviv y Lieth, 2008).

En el componente 2 las variables encontradas con niveles de correlación >70% fueron Cobre (-0.88), Hierro (-0.66), Zinc (-0.71), DAP (-0.73), EPT (0.82), CA (0.73). Cuando el espacio poroso aumenta la densidad aparente disminuye, ese fenómeno explica dicha relación negativa (Fuentes y Absi, 2015). En el caso de los micronutrientes se

ha documentado que tienen relaciones sinérgicas por ello al disminuir alguno de ellos, los demás tienden a disminuir también (Li et al., 2018). La estructura de un suelo con poros cerrados o más pequeños conduce a una menor disponibilidad de nutrientes (Jiménez et al., 2020).

Finalmente, el tercer componente, estuvo relacionado con: Nitrato (0.62), pH (-0.63), AR (0.73), ADD (-0.57). Este componente indica que cuando el agua de reserva y los nitratos aumentan el pH y el agua difícilmente disponible tienden a bajar.

En la mayoría de cultivos las prácticas de producción influyen en las densidades de patógenos vegetales y la gravedad de la enfermedad (Ghorbani et al., 2009).

Los resultados de este trabajo sugieren que el uso de diversos sustratos que difieren en el manejo que han recibido, puede no ser viable para predecir la incidencia de enfermedad debido a la variabilidad presente en las diferentes unidades de producción, y que la probabilidad de enfermedad solo puede evaluarse en condiciones de manejo controladas y homogéneas.

Los métodos de análisis de correlación entre variables que intervienen en el correcto desarrollo del cultivo son los medios para lograr una adecuada función de pronóstico; en aplicaciones prácticas, sin embargo, un solo método de análisis no expresa completamente la dinámica del desarrollo del cultivo.

### **3.9. Conclusiones**

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación se puede concluir que:

Se identificaron morfológicamente a cuatro patógenos como agentes causales de enfermedades de tallo en arándano, causando tizón de tallo y marchitez de puntas se aisló a *Pestalotiopsis* spp. y causando muerte regresiva se aislaron a los agentes patógenos *Lasiodiplodia* spp., *Neofusicoccum* spp y *Fusarium* spp.

Los materiales encontrados con mayor frecuencia y proporción para formar las mezclas de sustratos fueron turba, fibra de coco, microchips de coco, tepojal, perlita y tezontle.

Las propiedades físicas en el sustrato conformado por turba + fibra de coco + tepojal presentaron en su mayoría valores dentro del intervalo recomendado para cultivos hidropónicos.

Los sustratos presentaron niveles óptimos de K, niveles bajos en pH, N y P, niveles altos de Mn, Mg, Fe, Zn, Na, Ca, Cu y CE, pero ninguno de ellos tuvo correlación significativa con el nivel de incidencia y severidad de enfermedades.

La mayoría de las propiedades físicas de los sustratos no mostraron relación con la incidencia y severidad de tizón de tallo y muerte regresiva de arándano, solo el agua total disponible estuvo baja en sustratos con plantas enfermas y ligeramente alta en plantas sanas.

Las correlaciones significativas obtenidas del análisis de correlación de Pearson fueron 13, sin embargo, ninguna de ellas tuvo correlación significativa con la incidencia y severidad de las enfermedades, las correlaciones moderadas con los niveles de incidencia fueron densidad, variedad, patógeno, sustrato, densidad aparente, capacidad de retención de humedad, agua fácilmente disponible, calcio, magnesio y tipo de tejido afectado.

Las correlaciones significativas del análisis de componentes principales relacionadas al objetivo de estudio fueron 18 que explicaban el 68% de la varianza, sin embargo, ninguna de ellas tuvo correlación significativa con la incidencia y severidad.

### 3.10. Literatura citada

- Abad, M., Martínez-Herrero, P.F., Martínez-García, M.D. & Martínez-Corts, J. (1992). Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura*. 11: 141-154.
- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M. & Bharwana, S. A. (2015). The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(11), 8148-8162.
- Amalfitano, C. A., Del Vacchio, L. D. V., Somma, S., Cuciniello, A. C., & Caruso, G. (2017). Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of 'Friariello' pepper grown in hydroponics. *Horticultural Science*, 44(2), 91-98.
- Ansorena M., J. (1994). *Sustratos. Propiedades y Caracterización* (170 p). Mundi-Prensa.
- Blok, C., Kreij, C. D., Baas, R. O. B., & Wever, G. (2008). Analytical methods used in soilless cultivation.
- Bolaños-Alcántara, M. N., Pineda-Pineda, J., Castro-Brindis, R., Vargas-Hernández, M., & Avitia-García, E. (2019). Nitrate/ammonium ratio and electrical conductivity in blueberry quality. *Acta Horticulturae*, (1265), 233–240. doi:10.17660/actahortic.2019.1265.33
- Borrero, C., Castaño, R., & Avilés, M. (2018). First Report of *Pestalotiopsis clavispora* (*Neopestalotiopsis clavispora*) causing canker and twig dieback on Blueberry Bushes in Spain. *Plant Disease*, 102(6), 1178-1178. <https://doi.org/10.1094/pdis-10-17-1529-pdn>
- Boyzo-Marin, J., Rebollar-Alviter, A., Silva-Rojas, H. V., & Ramirez-Maldonado, G. (2016). First report of *Neofusicoccum parvum* causing stem blight and dieback of blueberry in Mexico. *Plant Disease*, 100(12), 2524-2524.

- Bro, R., & Smilde, A. K. (2014). Principal component analysis. *Analytical methods*, 6(9), 2812-2831.
- Broders, K. D., Wallhead, M. W., Austin, G. D., Lipps, P. E., Paul, P. A., Mullen, R. W., & Dorrance, A. E. (2009). Association of soil chemical and physical properties with *Pythium* species diversity, community composition, and disease incidence. *Phytopathology*, 99(8), 957-967.
- Bryla, D. R., Strik, B. C., Banados, M. P., & Righetti, T. L. (2012). Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment—II. Plant nutrient requirements in relation to nitrogen fertilizer supply. *HortScience*, 47(7), 917-926.
- Cannavo, P., Hafdhi, H., & Michel, J. C. (2011). Impact of root growth on the physical properties of peat substrate under a constant water regimen. *HortScience*, 46(10), 1394-1399.
- Catarino, A. D. M., Pozza, E. A., Pozza, A. A. A., Vasco, G. B., & Souza, P. E. D. (2016). Calcium and potassium contents in nutrient solution on *Phoma* leaf spot intensity in coffee seedlings. *Revista Ceres*, 63(4), 486-491.
- Choi, Y. W., Hyde, K. D., & Ho, W. H. (1999). Single spore isolation of fungi. *Fungal diversity*.
- Davey Rowena S., McNeill Ann M., Barnett Stephen J., Gupta Vadakattu V. S. R. (2021). Potential for suppression of *Rhizoctonia* root rot is influenced by nutrient (N and P) and carbon inputs in a highly calcareous coarse-textured topsoil. *Soil Research*
- De Boodt, M., Verdonck, O., & Cappaert, I. (1974). Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Horticulturae*, (37), 2054–2063. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1974.37.20>

- Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E. S., & Staver, C. P. (2018). *Fusarium* wilt of banana: current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in plant science*, 9, 1468.
- Dordas, C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*, 28(1), 33-46.
- Estrin, B., & Boland, F. E. (1970). Collaborative Study of Two New Methods for the Determination of Phosphorus in Fruits and Fruit Products. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 53(3), 575-578.
- Fang, Y., Nunez, G. H., Silva, M. N. D., Phillips, D. A., & Munoz, P. R. (2020). A Review for Southern Highbush Blueberry Alternative Production Systems. *Agronomy*, 10(10), 1531.
- Fuentes, H. R., & Absi, J. R. (2015). *Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación*. Editorial Trillas.
- Fukao, Y., Ferjani, A., Tomioka, R., Nagasaki, N., Kurata, R., Nishimori, Y., ... & Maeshima, M. (2011). iTRAQ analysis reveals mechanisms of growth defects due to excess zinc in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 155(4), 1893-1907.
- Fulcher, A., Gauthier, N. W., Klingeman, W. E., Hale, F., & White, S. A. (2015). Blueberry culture and pest, disease, and abiotic disorder management during nursery production in the southeastern US: A review. *Journal of Environmental Horticulture*, 33(1), 33-47.
- Gallegos-Cedillo, V. M., Álvaro, J. E., Capatos, T., Hachmann, T. L., Carrasco, G., & Urrestarazu, M. (2018). Effect of pH and silicon in the fertirrigation solution on vegetative growth of blueberry plants in organic agriculture. *HortScience*, 53(10), 1423-1428.

- Ghorbani, R., Wilcockson, S., Koocheki, A., & Leifert, C. (2009). Soil management for sustainable crop disease control: a review. *Organic farming, pest control and remediation of soil pollutants*, 177-201.
- Gohardoust, M. R., Bar-Tal, A., Effati, M., & Tuller, M. (2020). Characterization of Physicochemical and hydraulic properties of organic and mineral soilless culture substrates and mixtures. *Agronomy*, 10(9), 1403.
- González, P., Alaniz, S., Montelongo, M. J., Rauduviniče, L., Rebellato, J., Silvera-Pérez, E., & Mondino, P. (2012). First report of *Pestalotiopsis clavispora* causing dieback on blueberry in Uruguay. *Plant disease*, 96(6), 914-914.
- González-Villagra, J., Escobar, A. L., Ribera-Fonseca, A., Cárcamo, M. P., Omena-García, R. P., Nunes-Nesi, A., ... & Reyes-Díaz, M. (2021). Differential mechanisms between traditionally established and new highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars reveal new insights into manganese toxicity resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 454-465.
- Gupta, N., Debnath, S., Sharma, S., Sharma, P., & Purohit, J. (2017). Role of nutrients in controlling the plant diseases in sustainable agriculture. In *Agriculturally important microbes for sustainable agriculture* (pp. 217-262). Springer, Singapore.
- Gupta, N., Debnath, S., Sharma, S., Sharma, P., & Purohit, J. (2017). Role of nutrients in controlling the plant diseases in sustainable agriculture. In *Agriculturally important microbes for sustainable agriculture* (pp. 217-262). Springer, Singapore.
- Hachiya, T., & Sakakibara, H. (2017). Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants. *Journal of Experimental Botany*, 68(10), 2501-2512.
- Huber, D. M., & Jones, J. B. (2013). The role of magnesium in plant disease. *Plant and soil*, 368(1), 73-85.

- Huber, D., Römheld, V., & Weinmann, M. (2012). Relationship between nutrition, plant diseases and pests. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 283-298). Academic Press.
- Jiménez-Rosado, M., Martín, A., Alonso-González, M., Guerrero, A., & Romero, A. (2020). Functional biodegradable protein-based matrices as a potential candidate for micronutrients and water supply. *Polymer Engineering & Science*, 60(9), 2285-2291.
- Jones Jr, J. B. (1991). Kjeldahl method for nitrogen determination. *Kjeldahl method for nitrogen determination*.
- Kieu, N. P., Aznar, A., Segond, D., Rigault, M., SIMOND-CÔTE, E. L. I. Z. A. B. E. T. H., Kunz, C., ... & Dellagi, A. (2012). Iron deficiency affects plant defence responses and confers resistance to *Dickeya dadantii* and *Botrytis cinerea*. *Molecular plant pathology*, 13(8), 816-827.
- Korcak, R. F. (1992). Blueberry species and cultivar response to soil types. *Journal of Small Fruit & Viticulture*, 1(1), 11-24.
- Lagunes-Fortiz, E. R., Fortiz, E. L., Gómez-Gómez, A. A., Leos-Rodríguez, J. A., & Omaña-Silvestre, J. M. (2020). Competitividad y rentabilidad de la producción de frutillas en Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1815-1826.
- Li, J., Wang, M. Y., Chen, G., Wu, L., & Zhang, M. (2018). Study on the Relationship between Blueberry Soil and Leaf in Southern China—Based on MLR-PCA Prediction Model. *Ekoloji*, 27(106), 395-404.
- Liu, Y. H., Lin, T., Ye, C. S., & Zhang, C. Q. (2014). First Report of Fusarium Wilt in Blueberry (*Vaccinium corymbosum*) Caused by *Fusarium oxysporum* in China. *Plant disease*, 98(8), 1158. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-14-0167-PDN>

- Malvi, U. R. (2011). Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 24(1).
- Matsuoka, K., Moritsuka, N., Kusaba, S., & Hiraoka, K. (2018). Effects of soil type and soil treatment on solubilization of 13 elements in the root zone and their absorption by blueberry bushes. *The Horticulture Journal*, OKD-100.
- Messiga, A. J., Dyck, K., Ronda, K., van Baar, K., Haak, D., Yu, S., & Dorais, M. (2020). Nutrients Leaching in Response to Long-Term Fertigation and Broadcast Nitrogen in Blueberry Production. *Plants*, 9(11), 1530.
- Mondragón Flores, A., López Medina, J., Ochoa Ascencio, S., & Gutiérrez Contreras, M. (2012). Hongos asociados a la parte aérea del arándano en Los Reyes, Michoacán, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 30(2), 141-144.
- Noguera, P., Abad, M., Puchades, R., Maquieira, A., & Noguera, V. (2003). Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Communications in soil science and plant analysis*, 34(3-4), 593-605.
- Osorio, R., Cáceres, C., & Covarrubias, J. I. (2019). Vegetative and physiological responses of “emerald” blueberry to Ammoniacal sources with a nitrification inhibitor. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-9.
- Ownley, B. H., Benson, D. M., & Bilderback, T. E. (1990). Physical properties of container media and relation to severity of *phytophthora* root rot of rhododendron. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115(4), 564-570.
- Phillips, A. J. L., Alves, A., Abdollahzadeh, J., Slippers, B., Wingfield, M. J., Groenewald, J. Z., & Crous, P. W. (2013). The Botryosphaeriaceae: genera and species known from culture. *Studies in Mycology*, 76, 51–167. doi:10.3114/sim0021

- Pii, Y., Cesco, S., & Mimmo, T. (2015). Shoot ionome to predict the synergism and antagonism between nutrients as affected by substrate and physiological status. *Plant Physiology and Biochemistry*, 94, 48-56.
- Raviv, M., Lieth, J. H. (2008). *Soilless Culture: Theory and Practice*. Editorial Elsevier. United States of America. 625 p.
- Rebollar-Alviter, A., Boyzo-Marin, J., Silva-Rojas, H. V., & Ramirez, G. (2013). Fungi and oomycete pathogens causing stem blight and root rots on blueberry in central Mexico. *Phytopathology* .103(6), pp. 119-120).
- Rebollar-Alviter, A., Minnis, A. M., Dixon, L. J., Castlebury, L. A., Ramírez-Mendoza, M. R., Silva-Rojas, H. V., & Valdovinos-Ponce, G. (2011). First report of leaf rust of blueberry caused by *Thekopsora minima* in Mexico. *Plant disease*, 95(6), 772-772.
- Retamales, B. J. and J. F. Hancock. (2018). *Blueberries*. 2nd Edition. CABI. Michigan State University. 425 p.
- Schwarz, M. (2012). *Manejo de cultivos sin suelo* (Vol. 24). Springer Science & Business Media.
- SIAP. 2020. Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP). Edición, 2020.
- Slippers, B., and Wingfield, M. J. (2007). Botryosphaeriaceae as endophytes and latent pathogens of woody plants: diversity, ecology and impact. *Fungal Biology Reviews*, 21(2-3), 90–106. doi:10.1016/j.fbr.2007.06.002
- Tennakoon, K. M. S., Ridgway, H. J., Jaspers, M. V., & Jones, E. E. (2018). Factors affecting *Neofusicoccum ribis* infection and disease progression in blueberry. *European Journal of Plant Pathology*, 151(1), 87-99.
- Thrall, P. H., Burdon, J. J., & Bock, C. H. (2001). Short-term epidemic dynamics in the *Cakile maritima*–*Alternaria brassicicola* host–pathogen association. *Journal of Ecology*, 89(5), 723-735.

- Torres-Guerrero, Carlos Alberto, Etchevers B., Jorge D., Fuentes-Ponce, Mariela Hada, Govaerts, Bram, León-González, Fernando De, & Herrera, Juan Manuel. (2013). Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo. *Terra Latinoamericana*, 31(1), 71-84. Recuperado en 06 de mayo de 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792013000100071&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000100071&lng=es&tlng=es).
- Tsonev, T., & Cebola Lidon, F. J. (2012). Zinc in plants-an overview. *Emirates Journal of Food & Agriculture (EJFA)*, 24(4).
- Usted, M. P., Lanoiselet, V., Wang, C. P., & Barbetti, M. J. (2014). First report of *Alternaria* leaf spot caused by *Alternaria tenuissima* on Blueberry (*Vaccinium corymbosum*) in Western Australia. *Plant disease*, 98(3), 423. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-13-0737-PDN>
- Vylkova, S. (2017). Environmental pH modulation by pathogenic fungi as a strategy to conquer the host. *PLoS pathogens*, 13(2), e1006149.
- Wilkinson, K., Grant, W. P., Green, L. E., Hunter, S., Jeger, M. J., Lowe, P., & Waage, J. (2011). Infectious diseases of animals and plants: an interdisciplinary approach.
- Xu, C., Zhang, H., Zhou, Z., Hu, T., Wang, S., Wang, Y., and Cao, K. (2015). Identification and distribution of Botryosphaeriaceae species associated with blueberry stem blight in China. *European Journal of Plant Pathology*, 143(4), 737–752. doi:10.1007/s10658-015-0724-6
- Xue, D. S., Lian, S., Li, B.H. y Wang, C. X. (2018). First\_Report\_of\_Pestalotiopsis clavispora causing root rot on blueberry in China. *Plant Disease*, 102(8), 1655
- Zhao, L., Wang, Y., He, W., & Zhang, Y. (2019). Stem Blight of Blueberry Caused by *Lasiodiplodia vaccinii* sp. nov. in China. *Plant disease*, 103(8), 2041-2050.

Zheng, X., Qi, X., Xu, J., Cui, Y., Yu, X., Chang, X., ... & Gong, G. (2015). First Report of *Corynespora* Leaf Spot of Blueberry Caused by *Corynespora cassiicola* in Sichuan, China. *Plant Disease*, 99(11), 1651.

### 3.11. ANEXOS

#### 3.11.1 Anexo 1

Cuadro 6. Análisis de varianza de las propiedades físicas en diferentes de sustratos

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr > F
<b>Densidad aparente</b>					
Modelo	4	0.15068966	0.03767241	159.68	<.0001
Error	168	0.0396352	0.00023592		
Total corregido	172	0.19032486			
<b>Capacidad de retención de humedad</b>					
Modelo	4	2209.644441	552.41111	14.08	<.0001
Error	164	6435.739658	39.242315		
Total corregido	168	8645.384098			
<b>Espacio poroso total</b>					
Modelo	4	1984.394554	496.098638	21.08	<.0001
Error	150	3530.321126	23.535474		
Total corregido	154	5514.71568			
<b>Capacidad de aireación</b>					
Modelo	4	1218.260913	304.565228	7.16	<.0001
Error	137	5824.084311	42.511564		
Total corregido	141	7042.345223			
<b>Agua fácilmente disponible</b>					
Modelo	4	951.309717	237.827429	13.25	<.0001
Error	150	2692.739231	17.951595		
Total corregido	154	3644.048948			
<b>Agua de reserva</b>					
Modelo	4	212.8201	53.205025	8.25	<.0001
Error	145	935.464844	6.451482		
Total corregido	149	1148.284944			
<b>Agua difícilmente disponible</b>					
Modelo	4	3233.676871	808.419218	36.42	<.0001
Error	157	3484.638147	22.195147		
Total corregido	161	6718.315018			
<b>Agua total disponible</b>					
Modelo	4	1694.953347	423.738337	15.73	<.0001
Error	153	4120.611811	26.932103		
Total corregido	157	5815.565158			

Cuadro 7. Comparación de medias (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) de propiedades físicas entre diferentes sustratos.

<b>Densidad aparente (g·cm<sup>-3</sup>)</b>				<b>Agua Fácilmente disponible (%)</b>					
Tukey	Agrupamiento	Media	N	Sustrato	Tukey	Agrupamiento	Media	N	Sustrato
A		0.181667	18	3		A	22.262	5	5
A						A			
A		0.177778	18	4	B	A	18.6	15	3
					B	A			
B		0.131667	6	5	B	A	18.423	33	2
B					B				
B		0.125758	33	2	B	C	17.309	13	4
						C			
C		0.104184	98	1		C	13.766	89	1
<b>Capacidad de retención de humedad (%)</b>				<b>Agua de reserva (%)</b>					
A		75.157	18	3		A	10.608	4	5
A						A			
A		74.493	6	5	B	A	8.982	32	2
					B	A			
B		66.141	94	1	B	A	8.781	13	3
B					B				
B		65.498	18	4	B		6.649	10	4
					B				
B		62.798	33	2	B		6.58	91	1
<b>Espacio poroso total (%)</b>				<b>Agua difícilmente disponible (%)</b>					
	A	90.748	4	5		A	47.074	18	3
	A					A			
B	A	86.39	87	1		A	45.682	88	1
B						A			
B	C	81.106	16	4		A	45.227	6	5
	C					B			
	C	80.723	33	2		B	38.286	18	4
	C					B			
	C	76.592	15	3		B	35.35	32	2
<b>Capacidad de aireación (%)</b>				<b>Agua total disponible (%)</b>					
	A	21.236	88	1		A	27.42	5	5
	A					A			
	A	18.675	12	4		A	27.366	32	2
	A					A			
	A	18.283	32	2		A	26.348	16	3
	A					A			
B	A	15.04	4	5	B	A	24.795	16	4
B					B				
B		7.812	6	3	B		20.082	89	1

\*Las medias con la misma letra no tienen diferencias significativas. N=5

1= Fibra de coco + microchips, 2= Turba + fibra de coco + perlita, 3=Turba + fibra de coco + perlita con 10% como base de tezontle, 4=Turba + fibra de coco + perlita + 30% de tezontle como base y 5=Turba + fibra de coco + tepojal



B	A			
B	A	8.621	14	3
B	A			
B	A	7.108	21	2
B	A			
B	A	7.083	7	5
B				
B		5.158	6	1.5

\*Las medias con la misma letra no tienen diferencias significativas. N=5

1 año, 1.5 años, 2 años, 3 años, 3.5 años, 4 años y 5 años

Cuadro 9. Análisis de varianza de la concentración (mg·L<sup>-1</sup>) de nutrientes en el extracto de saturación de diferentes sustratos.

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
<b>Amonio</b>					
Modelo	4	1820.706892	455.176723	15.34	<.0001
Error	121	3590.151353	29.670672		
Total corregido	125	5410.858244			
<b>Nitrato</b>					
Modelo	4	1483.768978	370.942244	18.94	<.0001
Error	121	2369.761617	19.584807		
Total corregido	125	3853.530594			
<b>Nitrógeno total</b>					
Modelo	4	6323.93255	1580.98314	17.58	<.0001
Error	121	10881.8884	89.93296		
Total corregido	125	17205.82094			
<b>Fósforo</b>					
Modelo	4	3267.90272	816.97568	2.7	0.0339
Error	121	36651.26969	302.90306		
Total corregido	125	39919.17241			
<b>Potasio</b>					
Modelo	4	30202.602	7550.6505	1.37	0.2497
Error	121	668710.864	5526.5361		
Total corregido	125	698913.466			
<b>Calcio</b>					
Modelo	4	242257.2997	60564.3249	11.26	<.0001
Error	121	650584.7028	5376.7331		
Total corregido	125	892842.0025			
<b>Sodio</b>					
Modelo	4	195569.095	48892.2738	14.18	<.0001
Error	121	417294.4759	3448.7147		
Total corregido	125	612863.5709			
<b>Cobre</b>					
Modelo	4	8.48834025	2.12208506	15.93	<.0001
Error	119	15.84943717	0.13318855		
Total corregido	123	24.33777742			
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
<b>Manganeso</b>					
Modelo	4	446.365612	111.591403	2.03	0.0947
Error	119	6545.325388	55.002734		
Total corregido	123	6991.691			
<b>Hierro</b>					
Modelo	4	447.807787	111.951947	3.4	0.0113
Error	119	3917.146907	32.917201		
Total corregido	123	4364.954694			
<b>Zinc</b>					
Modelo	4	28.1444457	7.0361114	0.88	0.476
Error	119	947.5414212	7.962533		
Total corregido	123	975.6858669			
<b>Magnesio</b>					
Modelo	4	185356.578	46339.1445	26.39	<.0001
Error	119	208926.4537	1755.6845		
Total corregido	123	394283.0317			
<b>Conductividad Eléctrica</b>					
Modelo	4	20.99890964	5.24972741	6.18	0.0003
Error	58	49.30277608	0.85004786		
Total corregido	62	70.30168571			
<b>p H</b>					
Modelo	4	8.94340291	2.23585073	6.2	0.0003
Error	58	20.92697169	0.36080986		
Total corregido	62	29.8703746			

Cuadro 10. Comparación de medias (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) de la concentración de nutrimentos ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en el extracto de saturación de diferentes sustratos.

<b>AMONIO</b>				<b>COBRE</b>					
Tukey	Agrupamiento	Media	N	Sustrato	Tukey	Agrupamiento	Media	N	Sustrato
	A	27.018	4	5		A	1.3333	12	4
	B	12.36	22	2		A	1.284	10	3
	B	11.04	12	4	B	A	1.0759	22	2
	B	9.297	12	3	B	A	1.005	4	5
	B	7.239	76	1	B		0.6649	76	1
		<b>NITRATO</b>					<b>MANGANESO</b>		
	A	23.52	4	5	A		12.725	22	2
	B	9.316	22	2	A		10.549	76	1
	B	5.584	76	1	A		7.318	10	3
	B	5.095	12	4	A		6.783	12	4
	B	4.173	12	3	A		5.903	4	5
		<b>NITRATO</b>					<b>HIERRO</b>		
	A	50.535	4	5	A		10.581	22	2
	B	21.675	22	2	A		5.876	76	1
	B	16.137	12	4	A		5.466	10	3
	B	13.469	12	3	A		5.317	12	4
	B	12.821	76	1	A		4.01	4	5
		<b>FOSFORO</b>					<b>ZINC</b>		
	A	16.798	76	1	A		4.475	22	2
	A	16.198	12	4	A		4.025	4	5
	A	8.533	12	3	A		3.769	76	1
	A	5.047	22	2	A		3.033	12	4
	A	2.475	4	5	A		2.747	10	3
		<b>POTASIO</b>					<b>MAGNESIO</b>		
	A	141.22	12	3	A		159.59	10	3
	A	126.25	12	4	A		155.72	12	4
	A	122.16	76	1	B		75.16	76	1
	A				B				

A	91.23	22	2	B	35.65	22	2
A				B			
A	79.75	4	5	B	34.13	4	5
	<b>CALCIO</b>				<b>CE</b>		
A	197.5	12	3	A	3.435	6	4
A				A			
A	192.5	12	4	A	3.33	6	3
				A			
B	95.37	76	1	B	2.2611	38	1
B				B			
B	77.32	22	2	B	1.6027	11	2
B				B			
B	24.75	4	5	B	1.415	2	5
	<b>SODIO</b>				<b>PH</b>		
A	164.67	12	4	A	5.3633	6	4
A				A			
A	147.43	12	3	BA	4.8533	6	3
				BA			
B	64.63	76	1	BA	4.4276	38	1
B				B			
B	55.63	4	5	B	4.0173	11	2
B							
B	39.83	22	2	C	3.78	2	5

\*Las medias con la misma letra no tienen diferencias significativas. N=5

1= Fibra de coco + microchips, 2= Turba + fibra de coco + perlita, 3=Turba + fibra de coco + perlita con 10% como base de tezontle, 4=Turba + fibra de coco + perlita + 30% de tezontle como base y 5=Turba + fibra de coco + tepojal

Cuadro 11. Comparación de medias (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) de la concentración de nutrimentos ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en el extracto de saturación de los sustratos con diferente tiempo de uso o edad (años).

AMONIO					MANGANESO				
Tukey	Agrupamiento	Media	N	EDAD	Tukey	Agrupamiento	Media	N	EDAD
A		23.531	8	1		A	22.718	4	1.5
B		10.19	8	5	B	A	13.147	18	2
B		7.982	12	3	B	A	10.194	8	5
B		7.843	4	3.5	B	A	9.258	4	3.5
B		7.729	18	2	B	A	8.654	8	4
B		6.97	4	1.5	B	A	8.376	12	3
B		6.12	8	4	B		6.903	8	1
		<b>NITRATO</b>					<b>HIERRO</b>		
A		17.893	8	1	A		9.328	4	1.5
B		8.095	12	3	A		8.163	8	5
B		7.633	8	5	A		7.319	18	2
B		6.056	8	4	A		7.094	12	3
B		5.598	18	2	A		6.393	4	3.5
B		4.035	4	3.5	A		6.18	8	1
B		4.033	4	1.5	A		4.204	8	4
		<b>FOSFORO</b>					<b>ZINC</b>		
	A	40.27	8	5		A	7.865	4	1.5
	A	34.51	8	4	B	A	4.389	8	5
B	A	21.13	12	3	B	A	3.938	12	3
B	A	12.95	18	2	B	A	3.685	4	3.5
B	A	10.14	4	3.5	B	A	3.478	8	1
B	A	5.24	4	1.5	B	A	3.299	18	2
B		3.39	8	1	B		2.348	8	4
		<b>CALCIO</b>					<b>MAGNESIO</b>		
	A	250	4	1.5		A	164.27	4	3.5
B	A	197.5	4	3.5	B	A	121.46	4	1.5

B					B				
B	C	128.75	8	4	B	C	95.57	8	5
	C					C			
	C	109.09	8	5	D	C	59.32	18	2
	C				D	C			
D	C	95.33	12	3	D	C	50.18	8	4
D	C				D	C			
D	C	51.44	18	2	D	C	46.09	12	3
D					D				
D		22.25	8	1	D		28.09	8	1
	<b>SODIO</b>					<b>CE</b>			
A		113.75	4	3.5	A		3.315	4	5
A					A				
A		99.8	8	5	B		3.035	2	3.5
A					B				
A		96.71	8	4	B		2.845	2	1.5
A					B				
A		70.26	8	1	B		2.1625	4	4
A					B				
A		68.5	4	1.5	B		1.9522	9	2
A					B				
A		62.14	12	3	B		1.6733	6	3
A					B				
A		49.28	18	2	B		1.31	4	1
	<b>COBRE</b>					<b>PH</b>			
	A	1.455	4	3.5	A		5.19	2	1.5
	A				A				
B	A	1.0175	8	1	B		4.4711	9	2
B	A				B				
B	A	0.8	4	1.5	B		4.2875	4	1
B	A				B				
B	A	0.7175	12	3	B		4.2675	4	5
B	A				B				
B	A	0.7117	18	2	B		4.15	2	3.5
B					B				
B		0.6313	8	5	B		3.8425	4	4
B					B				
B		0.5475	8	4	B		3.7017	6	3

\*Las medias con la misma letra no tienen diferencias significativas. N= 7

1 año, 1.5 años, 2 años, 3 años, 3.5 años, 4 años y 5 años

Cuadro 12. Comparación de medias (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) de la concentración ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) de nutrimentos en el extracto de saturación de sustratos con planta en condición sana (1) o enferma (2).

Tukey	Agrupamiento	Media	N	Condición	Tukey	Agrupamiento	Media	N	Condición
	<b>Amonio</b>					<b>Cobre</b>			
A		11.54	30	1	A		0.805	30	1
A					A				
A		8.331	32	2	A		0.745	32	2
	<b>Nitrato</b>					<b>Manganeso</b>			
A		9.345	30	1	A		11.37	32	2
A					A				
A		6.328	32	2	A		10.24	30	1
	<b>Nitrógeno total</b>					<b>Hierro</b>			
A		20.89	30	1	A		7.646	30	1
A					A				
A		14.66	32	2	A		6.211	32	2
	<b>Fósforo</b>					<b>Zinc</b>			
A		22.5	30	1	A		3.968	30	1
A					A				
A		15.58	32	2	A		3.61	32	2
	<b>Potasio</b>					<b>Magnesio</b>			
A		140	30	1	A		67.67	32	2
A					A				
A		106.7	32	2	A		66.3	30	1
	<b>Calcio</b>					<b>Conductividad eléctrica</b>			
A		100.7	30	1	A		2.392	15	1
A					A				
A		91.27	32	2	A		1.915	16	2
	<b>Sodio</b>					<b>Ph</b>			
A		84.22	30	1	A		4.245	15	1
A					A				
A		61.54	32	2	A		4.191	16	2

\*Condición 1 = Sana y condición 2 = Enferma. N=2

\*Las medias con la misma letra no tienen diferencias significativas.

Cuadro 13. Comparación de medias (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) de propiedades físicas de los sustratos con planta en condición sana (1) o enferma (2).

Tukey Agrupamiento	Media	N	Condición	Tukey Agrupamiento	Media	N	Condición
<b>Densidad aparente (g·cm<sup>-3</sup>)</b>				<b>Agua Fácilmente disponible (%)</b>			
A	0.119	40	2	A	17.331	34	1
A				A			
A	0.116486	37	1	A	15.371	37	2
<b>Capacidad de retención de humedad (%)</b>				<b>Agua de reserva (%)</b>			
A	68.924	37	1	A	8.2349	37	2
A				A			
A	66.535	40	2	A	7.6162	34	1
<b>Espacio poroso total (%)</b>				<b>Agua difícilmente disponible (%)</b>			
A	84.864	37	2	A	44.731	36	1
A				A			
A	84.692	34	1	A	43.315	38	2
<b>Capacidad de aireación (%)</b>				<b>Agua total disponible (%)</b>			
A	19.999	35	2	A	24.303	34	1
A				A			
A	17.467	31	1	A	23.224	38	2

\*Condición 1 = Sana y condición 2=Enferma. N=2

\*Las medias con la misma letra no tienen diferencias significativas.

### 3.11.2 Anexo 2

Cuadro 14. Correlaciones de Pearson con coeficiente de relación moderado.

Coeficientes de correlación Pearson					
Prob >  r  suponiendo H0: Rho=0					
Número de observaciones					
SODIO	FOSFORO		MAGNESIO		DAP
	0.79612		0.75456		0.79346
	<.0001		<.0001		<.0001
	62	CE	31	SUSTRATO	77
COBRE	FOSFORO		COBRE		DAP
	-0.75032		-0.66302		0.73547
	<.0001		<.0001		<.0001
	62	EPT	50	VARIEDAD	77
CALCIO	MAGNESIO		POTASIO		DENSIDAD
	0.68733		0.65752	PATOGENO	0.76051
	<.0001		<.0001		<.0001
	62	EDAD	62		400
MANGANESO	ZINC		AFD		TEJIDO
	0.65572		0.69559		-0.68657
	<.0001		<.0001		<.0001
	62	CRH	71	COBRE	62
HIERRO	ZINC		AFD		
	0.67794		0.85981		
	<.0001		<.0001		
	62	ATD	68		

Cuadro 15. Coeficientes de correlación de Pearson con coeficiente de correlación bajo.

<b>Coeficientes de correlación Pearson</b>			
<b>Prob &gt;  r  suponiendo H0: Rho=0</b>			
<b>Número de observaciones</b>			
	TEJIDO		AFD
INCIDENCIA	0.46254	INCIDENCIA	0.43272
	<.0001		0.0005
	CALCIO		SUSTRATO
INCIDENCIA	0.47395	INCIDENCIA	0.36537
	<.0001		0.0009
	62		80
	MAGNESIO		PATÓGENO
INCIDENCIA	0.48207	INCIDENCIA	0.62157
	<.0001		<.0001
	62		80
	DAP		DENSIDAD
INCIDENCIA	0.46047	INCIDENCIA	0.44612
	0.0001		<.0001
	66		80
	CRH		VARIEDAD
INCIDENCIA	0.42088	INCIDENCIA	0.35817
	0.0004		0.0011
	66		80

Cuadro 16.- Proporción de la varianza explicada por cada componente.

Análisis de componentes principales						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Standard deviation	2.3718	2.2534	1.8676	1.51833	1.32549	1.14552
Proportion of variance	0.2344	0.2116	0.1453	0.09606	0.07321	0.05468
Cumulative Proportion	0.2344	0.446	0.5913	0.68735	0.76056	0.81523

Cuadro 17.- Correlaciones de cada componente con las variables fisicoquímicas y la incidencia y severidad de tizón de tallo, marchitez de punta y muerte regresiva en arándano

<b>COMPONENTE 1</b>			
AMONIO	NITRATO	FOSFORO	POTASIO
-0.2825169	-0.1919733	0.6882216	0.7121984
CALCIO	SODIO	COBRE	MANGANESO
0.6843795	0.7008784	-0.342291	-0.4541838
HIERRO	ZINC	MAGNESIO	CE
-0.2503953	-0.26961	0.4891748	0.5818915
pH	EDAD	DAP	CRH..
-0.1077493	0.6554044	0.2181571	0.8232332
EPT..	CA..	AFD..	AR..
0.1239642	-0.5567316	0.6442142	0.09237463
ADD..	ATD..	INCIDENCIA..	SEVERIDAD.
0.3921091	0.6014853	0.3147092	0.04214709
<b>COMPONENTE 2</b>			
AMONIO	NITRATO	FOSFORO	POTASIO
-0.1507566	-0.02019189	0.6202518	-0.07977307
CALCIO	SODIO	COBRE	MANGANESO
-0.159288	0.3655396	-0.8778317	-0.5208045
HIERRO	ZINC	MAGNESIO	CE
-0.6649785	-0.7110466	-0.5648016	-0.4074765
pH	EDAD	DAP	CRH..
-0.1856201	-0.1191546	-0.7350617	-0.0808895
EPT..	CA..	AFD..	AR..
0.8187827	0.7377123	-0.2918062	-0.06910866
ADD..	ATD..	INCIDENCIA..	SEVERIDAD.
0.1081931	-0.2564663	-0.1169695	-0.1962923
<b>COMPONENTE 3</b>			
AMONIO	NITRATO	FOSFORO	POTASIO
0.4449871	0.6221983	-0.07614593	-0.1415059
CALCIO	SODIO	COBRE	MANGANESO
-0.3691052	-0.04633568	0.07323828	-0.3143544
HIERRO	ZINC	MAGNESIO	CE
-0.3499788	-0.203248	-0.4628711	-0.4435152
pH	EDAD	DAP	CRH..
-0.6284302	0.1067078	0.288557	0.1318732
EPT..	CA..	AFD..	AR..
-0.161063	-0.2153827	0.3977301	0.7261839
ADD..	ATD..	INCIDENCIA..	SEVERIDAD.
-0.5735694	0.6510983	0.000102371	0.2047374
<b>COMPONENTE 4</b>			
AMONIO	NITRATO	FOSFORO	POTASIO
-0.6716509	-0.6110529	-0.1208084	-0.2753109
CALCIO	SODIO	COBRE	MANGANESO
0.1980054	-0.2317922	-0.114144	0.04310639
HIERRO	ZINC	MAGNESIO	CE
-0.1825769	-0.1216661	0.1069428	-0.2686378

pH	EDAD	DAP	CRH..
-0.05113556	0.1265525	0.1028879	-0.1990196
EPT..	CA..	AFD..	AR..
-0.0607916	0.1270765	-0.09335857	0.2619726
ADD..	ATD..	INCIDENCIA..	SEVERIDAD.
-0.2932502	0.09493881	0.6382906	0.6945824

---