



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**  
*Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre*

**DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA**  
**MAESTRÍA EN CIENCIA EN PROTECCIÓN VEGETAL**

**PROSPECCIÓN DE ENFERMEDADES FOLIARES DEL  
ARÁNDANO Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES  
FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUSTRATOS**

**T E S I S**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL**

**Presenta:**

**ING. LIDIA MUÑOZ HERRERA**

**Bajo la supervisión de: Dr. ÁNGEL REBOLLAR ALVITER**



**CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO, MAYO, 2021.**



**APROBADA**



**PROSPECCIÓN DE ENFERMEDADES FOLIARES DEL  
BLUEBERRY Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES  
FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUSTRATOS**

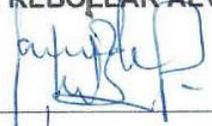
Tesis realizada por C. Lidia Muñoz Herrera bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL**

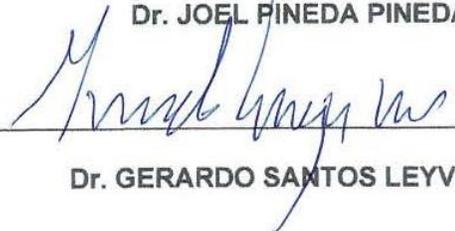
DIRECTOR: \_\_\_\_\_

  
**Dr. ÁNGEL REBOLLAR ALVITER**

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
**Dr. JOEL PINEDA PINEDA**

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
**Dr. GERARDO SANTOS LEYVA MIR**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	ix
RESUMEN GENERAL.....	x
GENERAL ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. Objetivo general .....	2
3. Objetivos específicos .....	2
4. Hipótesis.....	2
CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
1.1. Origen y distribución del arándano azul .....	3
1.2. Producción mundial y nacional.....	3
1.3. Morfología de la planta de arándano.....	4
1.4. Clasificación taxonómica.....	5
1.5. Variedades comerciales en México.....	5
1.5.1. Biloxi®.....	5
1.5.2. Victoria®.....	6
1.5.3. AtlasBlue®.....	6
1.5.4. JupiterBlue®.....	6
1.5.5. BiancaBlue®.....	6
1.6. Principales patógenos del cultivo de arándano .....	6
1.7. Principales enfermedades del cultivo de arándano .....	7
1.7.1. Mancha foliar .....	7
1.7.2. Mancha anillada.....	9
1.7.3. Mancha redonda.....	10
1.7.4. Marchitez de puntas.....	11
1.7.5. Marchitez por <i>Fusarium</i> sp. ....	12
1.7.6. Tizón de tallo y muerte regresiva .....	13
1.8. Sustratos .....	15
1.8.1. Propiedades de los sustratos.....	15

1.8.2. Propiedades físicas de los sustratos.....	16
1.8.3. Propiedades químicas .....	17
1.9. Sustratos utilizados en el cultivo de arándano .....	19
1.9.1. Fibra de coco .....	19
1.9.2. Turba .....	20
1.9.3. Perlita.....	20
1.9.4. Tezontle .....	21
1.10. Influencia de sustratos en la supresión de patógenos.....	21
2. LITERATURA CITADA .....	24
<b>CAPÍTULO II. RELACIÓN ENTRE ENFERMEDADES FOLIARES Y PROPIEDADES DE SUSTRATOS DEL ARÁNDANO EN JALISCO Y MICHOACÁN.....</b>	<b>37</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	37
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	38
2.1. Área de estudio.....	38
2.2. Sitios de muestreo .....	38
2.3. Aislamiento y purificación de patógenos.....	39
2.4. Identificación morfológica y obtención de cultivo monospórico.....	39
2.5. Caracterización de sustratos .....	40
2.6. Propiedades físicas.....	40
2.7. Propiedades químicas .....	42
2.8. Análisis de datos.....	42
3. RESULTADOS .....	43
3.1. Hongos asociados a manchas foliares .....	43
3.2. Hongo asociado a marchitamiento de puntas.....	47
3.5. Análisis de variables por el método de componentes principales.....	48
3.6. Relación entre la condición de la planta y las propiedades físicas .....	52
3.7. Relación entre la condición de la planta y los macronutrientes .....	52
3.8. Relación entre la condición de la planta y los micronutrientes.....	55
4. DISCUSIÓN .....	59
5. CONCLUSIONES.....	64

6. LITERATURA CITADA..... 65

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Municipios donde se realizó el muestreo.....	38
<b>Cuadro 2.</b> Correlación de variables mediante componentes principales.....	49
<b>Cuadro 3.</b> Agrupación de medias mediante el método Tukey (95 % de confianza). .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Producción de Arándano, A) Mundial (FAOSTAT, 2021) B) México (SIAP, 2021). .....	4
<b>Figura 2.</b> A) Síntomas iniciales de <i>Corynespora</i> sp., en hoja de arándano. B) Síntomas severos. C) Crecimiento micelial. D) Morfología de conidios.....	44
<b>Figura 3.</b> A) Síntomas de <i>Alternaria</i> sp., en hoja de arándano. B) Crecimiento micelial. C) Morfología conidial. ....	45
<b>Figura 4.</b> A) Síntomas de <i>Pestalotiosis</i> sp., en hoja de arándano. B) Acérvulos en hoja. C) Crecimiento micelial. D) Morfología de conidios.....	46
<b>Figura 5.</b> A) Síntomas iniciales de marchitamiento de punta. B) Curvatura de puntas. C) Crecimiento micelial. D) Morfología de conidios.....	47
<b>Figura 6.</b> Grafica biplot de los componentes principales. La longitud de cada vector propio es proporcional a la varianza de los datos. El ángulo entre los vectores propios representa las correlaciones entre las diferentes variables. ...	50
<b>Figura 7.</b> A) Agrupación de variables de acuerdo al tipo de sustrato, B) Integración del componente 3 y 4 por tipo de sustrato. C) Agrupación de variables de acuerdo a la variedad de arándano, D) Agrupación de variables de acuerdo al estatus (sana o enferma). ....	51
<b>Figura 8.</b> Distribución de valores de las propiedades físicas en relación al estatus de la planta y tipo de sustrato. A) Densidad aparente (DAP) en g·cm <sup>-3</sup> . B) Agua fácilmente disponible (AFD) en %.....	53
<b>Figura 9.</b> Distribución de valores (mg·L <sup>-1</sup> ) de los macronutrientes en relación al estatus de la planta y tipo de sustrato. A) Calcio. B) Fósforo. ....	54
<b>Figura 10.</b> Mapa de calor de la concentración de calcio en relación al tipo de sustrato y estatus de la planta (sana o enferma). ....	54
<b>Figura 11.</b> Distribución de valores (mg·L <sup>-1</sup> ) de los micronutrientes en relación al estatus de la planta y tipo de sustrato. A) Sodio, B) Cobre, C) Hierro. ....	56
<b>Figura 12.</b> A) Relación entre incidencia de enfermedades foliares y tipos de sustratos. B) Relación entre severidad y tipo de sustrato. ....	57
<b>Figura 13.</b> Distribución de valores (mg·L <sup>-1</sup> ) de amonio en relación a la edad de la planta. ....	58
<b>Figura 14.</b> Distribución de valores (mS) de CE en relación a las variedades de las plantas.....	58

## DEDICATORIA

*Con mucho amor y respeto*

*A mis padres*

*Aristea Herrera Mendoza & Agustín Muños Ocampo.*

*A mis hermanos*

*David & Héctor.*

*A mis abuelos*

*Juan Herrera, Juana Mendoza, Istanislao Muños<sup>†</sup> & Epifania Ocampo<sup>†</sup>.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el financiamiento otorgado para culminar mis estudios de Posgrado.

A la **Universidad Autónoma Chapingo (UACH)**, **Departamento de Parasitología Agrícola, Programa de Maestría en Protección Vegetal** por darme la oportunidad de formar parte de su gran comunidad de estudiantes, por sus enseñanzas y contribución a mi formación profesional.

Al **Centro Regional Centro Occidente de la Universidad Autónoma Chapingo** por el espacio y material otorgado en sus laboratorios para llevar acabo la presente investigación.

Al **Dr. Ángel Rebollar Alviter**, director de esta investigación, por su admirable forma de trabajar, sus valiosos conocimientos transmitidos y orientación.

Al **Dr. Joel Pineda Pineda**, por su dedicación, confianza, disponibilidad y por los conocimientos aportados a esta investigación.

Al **Dr. Gerardo Santos Leyva Mir**, por sus consejos, confianza y contribución en esta investigación.

Al **M. C. Antonio Segura Miranda**, coordinador de la Maestría en Ciencias en Protección vegetal, por ser una admirable persona, por su persistencia y generosidad.

**Drs. Alejandro Casimiro Michel Aceves, Agustín Mastache Lagunas<sup>†</sup> y Sergio Ayvar Serna**, profesores-investigadores del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, por su valiosa amistad, motivación y consejos.

A la **Ing. Ana Karen Martínez Vivanco**, por la colaboración en el trabajo practico de esta investigación y por su agradable amistad.

## DATOS BIOGRÁFICOS



Lidia Muñoz Herrera, con nacionalidad mexicana, nació el día 27 de marzo del año 1995 en la ciudad de Teloloapan, Guerrero. En el año 2017 se graduó como Ingeniero Agrónomo Fitotecnista en el Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO), mediante la tesis titulada Control integrado *in vitro* de *Alternaria solani* patógeno de calabacita.

En el año 2018, trabajó en la Federación Regional de Campesinos del Estado de Guerrero (FERCAMIEG) como técnico en elaboración de proyectos agrícolas. Posteriormente trabajó en el programa de Extencionismo nacional, donde proporcionó a productores conocimiento de nuevas tecnologías agrícolas para el cultivo de maíz. En enero del año 2019 comenzó a cursar la Maestría en Ciencias en Protección vegetal en la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México.

# PROSPECCIÓN DE ENFERMEDADES FOLIARES DEL ARÁNDANO Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUSTRATOS

## RESUMEN GENERAL

Las enfermedades foliares del arándano son importantes en los estados de Jalisco y Michoacán. Pueden llegar a causar hasta el 30% de pérdidas totales. El objetivo de la investigación fue conocer los hongos asociados a enfermedades foliares y determinar la relación entre propiedades físicas y químicas de sustratos. Se realizó un muestreo en plantaciones de arándano en Jalisco y Michoacán para coleccionar hojas con manchas necróticas y marchitez de puntas, incluyendo una muestra de sustrato de plantas enfermas y sanas por cada sitio de muestreo durante 2020-2021. Los datos fueron analizados mediante componentes principales con el paquete estadístico R, posteriormente un análisis de varianza y comparación de medias Tukey. Se identificaron los géneros *Corynespora* sp., *Alternaria* sp., y *Pestalotiopsis* sp. de las hojas con machas foliares, con incidencias de 90.5, 65.9 y 64.1% respectivamente. Del marchitamiento de puntas se identificó a *Pestalotiopsis* sp., con una incidencia de 19.65%. Las propiedades físicas de sustratos no presentaron diferencias significativas en función al estatus de la planta en general. En macronutrientes se observaron diferencias significativas para calcio. Los sustratos de las plantas enfermas tendieron a valores más altos en comparación con las sanas. La concentración de micronutrientes no fue diferente entre plantas enfermas y sanas. También se observó que los sustratos con 10% y 30% de tezontle tendieron a concentrar más sodio. Las plantas de 1 año tendieron a mayor contenido de amonio y finalmente, las variedades atlas y júpiter tendieron a mayor CE, coincidiendo con el sustrato PET-FBCC-PER-TEZN que presentó mayor contenido de sodio. Estos resultados contribuirán al diseño de programas de nutrición de arándano más eficientes en relación con el manejo de enfermedades.

**Palabras claves:** arándano, *Corynespora* sp., *Pestalotiopsis* sp., sustratos.

Autor: Lidia Muñoz Herrera  
Director de Tesis: Dr. Ángel Rebollar Alviter  
Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, Universidad Autónoma Chapingo.

# PROSPECTION OF BLUEBERRY FOLIAR DISEASES AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF GROWING SUBSTRATES

## GENERAL ABSTRACT

Blueberry foliar diseases are essential in Jalisco and Michoacán because they can cause up to 30% of total losses. The research objective was to know the fungi associated with foliar diseases their relationship with the physical and chemical properties of growing substrates. During the growing season of 2020-2021, a survey was carried out in blueberry plantations in Jalisco and Michoacán, Mexico. Blueberry leaves with necrotic spots, and flagged tips of plants were collected. Also, a substrate sample of diseased and healthy plants for each sampling site. The data were analyzed using principal components with the R statistical package. Subsequently, analysis of variance and comparison was conducted. The fungus *Corynespora* sp., *Alternaria* sp., and *Pestalotiopsis* sp. were associated with leaves with foliar spots and blights, with incidences of 90.5, 65.9, and 64.1%, respectively. From the flagged tips, *Pestalotiopsis* sp. was identified, with an incidence of 19.65%. The physical properties of substrates did not show significant differences depending on the health status of the plant overall. However, there were significant differences between healthy and diseased plants concerning Calcium concentration in the substrate. In contrast, there were no significant differences in micronutrient concentration between diseased and healthy plants. It was also observed that the substrates with 10% and 30% of volcanic gravel (tezontle) tended to concentrate more sodium. The 1-year-old plants tended to have a higher ammonium content compared with older plants. Finally, blueberry cv 'Atlas' and cv 'Jupiter' tended to have a higher EC, coinciding with the PET-FBCC-PER-TEZN substrate, which showed higher sodium content. These results will contribute to the design of better blueberry nutrition programs in relation to disease management.

**Key words:** blueberry, *Corynespora* sp., *Pestalotiopsis* sp., substrates.

# 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) es una planta originaria de América del Norte, recientemente domesticada. En los últimos años la superficie cultivada ha incrementado notablemente debido a la alta demanda de fruto en los mercados nacional e internacional, convirtiéndose en una alternativa interesante de producción (Undurraga y Vargas, 2013). La importancia radica en el fruto por aportar un alto valor nutricional y propiedades medicinales (Alkharouf et al., 2007).

La producción de este cultivo se encuentra limitada por diversas enfermedades principalmente causadas por hongos fitopatógenos. Entre los patógenos que afectan el área radicular del arándano se encuentran distintas especies de *Fusarium* spp., (Pérez et al., 2007; Wrihht et al., 2014) y *Phytophthora cinnamomi* (Bender et al., 2012), asociados a síntomas de marchitamiento, amarillamiento y disminución del crecimiento. Mientras tanto, los principales patógenos reportados en el área foliar son *Alternaria tenuissima* (You et al., 2014), *Colletotrichum fioriniae* (Rios et al., 2015), *Pestalotiopsis photiniae* (Chen et al., 2010), *Nigrospora oryzae* (Zhang et al., 2019), asociados a manchas foliares y defoliación. Estos hongos afectan en diferentes etapas fenológicas, provocando importantes pérdidas en rendimiento y calidad, lo cual repercute en el incremento de costos de producción. Ante esta situación surge la necesidad de generar conocimientos que permitan aportar alternativas productivas para una mayor rentabilidad.

En la agricultura convencional ha aumentado exponencialmente el uso de fungicidas químicos, porque garantizan la sanidad del cultivo, sin embargo, esta tecnología es cuestionada porque representa problemas de residualidad, contaminación del ambiente y daño a la salud de los consumidores (Kumar et al., 2014), situación que conlleva a restricciones crecientes sobre el uso de agroquímicos.

Es por ello, que el desarrollo de sustratos supresores de enfermedades se está convertido en la principal alternativa de la industria hortícola. Al respecto se ha demostrado cierto éxito en la mejora de la estructura del medio y la supresión de

enfermedades con mezclas basadas en corteza de pino compostada y otros materiales (Hunter et al., 2006).

En la actualidad la utilización de sustratos en el cultivo de arándano está cobrando cada vez más importancia (Cruzat y Mancilla, 2010), porque permite obtener una mejor calidad y sanidad de fruto, además de incrementar la productividad y optimizar el uso de agua y fertilizantes (Quintero et al., 2011; Beltrano y Giménez, 2015).

Se plantea entonces la falta de información sobre la influencia de propiedades físicas y químicas de los sustratos y su relación con la incidencia y severidad de enfermedades foliares de importancia en el cultivo de arándano, con la finalidad de generar información que contribuya a mejorar el manejo de las enfermedades incluyendo la influencia de las propiedades físicas y químicas de los sustratos.

## **2. Objetivo general**

Determinar si existe relación entre las propiedades de los sustratos y las enfermedades foliares del cultivo de arándano, en Michoacán y Jalisco.

## **3. Objetivos específicos**

1. Conocer los hongos asociados a enfermedades foliares en el cultivo de arándano.
2. Analizar e interpretar las propiedades físicas y químicas de sustratos utilizados en el cultivo de arándano.
3. Determinar la relación de las propiedades físicas y químicas de sustratos con la incidencia de enfermedades foliares en arándano.

## **4. Hipótesis**

Existe correlación entre las propiedades químicas y físicas de sustratos y las enfermedades foliares en el cultivo de arándano.

# CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA

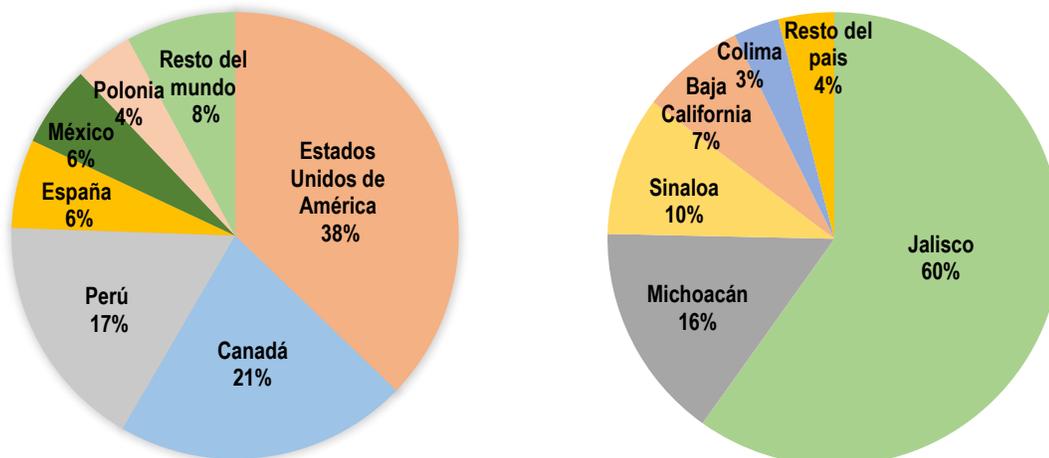
## 1.1. Origen y distribución del arándano azul

El arándano azul es originario de la parte Este de Norte América donde crece de manera silvestre. En el año 1910 la investigadora Elizabeth Coneman White y el botánico Frederick Vernon Coville, profesor del Departamento de Agricultura de Estados Unidos iniciaron los primeros cultivos comerciales de arándano (García et al., 2018). Es un frutal perteneciente al género *Vaccinium*, de la familia Ericáceas, contiene alrededor de 450 especies que constituyen un grupo ampliamente distribuido por Norteamérica, América del Sur, Europa Central, Eurasia y pocas especies en África y Madagascar. Actualmente presenta altas perspectivas de crecimiento en el mercado internacional, por sus beneficios en la salud humana, otorgando a quienes lo incluyen en su dieta bajas calorías, alto contenido de antioxidantes y anticancerígenos (García et al., 2018; Nohales y Nohales, 2010).

## 1.2. Producción mundial y nacional

El fruto de arándano se ha convertido en un producto con alta demanda por sus propiedades nutricionales, son bajos en grasas saturadas, colesterol, sodio, con aporte de vitamina C, vitamina K, manganeso, potasio, hierro, calcio, taninos de acción astringente, con efectos antibióticos y desinflamatorios (Cabezas et al., 2012; García et al., 2018).

La producción de arándanos a nivel mundial en el año 2019 estuvo representada por Estados Unidos de América con 308,760 t, Canadá 176,127 t, Perú 142,427 t, España 53,380 t y México aportó 48,999 t, por lo tanto, se ubicó en el quinto lugar a nivel mundial (Figura 1A) (FAOSTAT, 2021). En el mismo año la producción en México estuvo liderada por Jalisco con 29,471 t, Michoacán 7,618 t, Sinaloa 4,897 t, Baja California 3, 670 t y Colima con 1,609 t. Se obtuvo una producción total de 48,998 t, con un rendimiento promedio de 11.34 t/ha (Figura 1B) (SIAP, 2021).



**Figura 1.** Producción de Arándano, A) Mundial (FAOSTAT, 2021) B) México (SIAP, 2021).

### 1.3. Morfología de la planta de arándano

Es un arbusto perenne, con ramificación basitónica, de madera leñosa. Presenta un sistema radicular reducido, fibroso y superficial, se caracteriza por la ausencia de pelos absorbentes, por ello, las raíces jóvenes son las encargadas de la absorción (Carrera, 2012). Presenta un pequeño tallo subterráneo nombrado corona, es recto, cuadrangular y muy ramificado (García et al., 2018). Las hojas son simples, ubicadas alternamente a lo largo del tallo que varían de 1 a 8 cm de longitud, son de forma lanceolada u ovalada, de color verde pálido a muy intenso según cultivares, ligeramente dentadas y finamente nerviadas por el envés (Retamales y Hancock, 2012). Las flores se producen en inflorescencias, axilares o terminales, en racimos de 6 a 10 en cada yema, con sépalos persistentes, corola acampanada blanca a rosa, formada por 4 o 5 pétalos fusionados, presenta de 8 a 10 estambres con antenas aristadas o no, un pistilo simple, ovario ínfero, de 4 a 10 lóculos (Ochoa, 2015; García et al., 2018). El fruto es una falsa baya esférica de color azul oscuro a negro, su tamaño es muy variable debido a las diferentes condiciones climáticas, variedades y manejo. La epidermis del fruto está cubierta por secreciones cerosas que le dan un aspecto muy atractivo. Se les atribuye un alto valor medicinal y nutricional, convirtiéndolo en una especie de gran interés económico (Retamales y Hancock, 2012).

#### 1.4. Clasificación taxonómica

El arándano se clasifica de la siguiente manera (Retamales y Hancock, 2012):

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophytas

**Subdivisión:** Angiosperma

**Clase:** Dicotiledónea

**Subclase:** Dilleniidae

**Orden:** Ericales

**Familia:** Ericaceae

**Subfamilia:** Vaccinioideae

**Tribu:** Vaccinieae

**Género:** *Vaccinium*

**Especie:** *Vaccinium corymbosum* L.

#### 1.5. Variedades comerciales en México

Un aspecto muy importante a la hora de realizar una plantación de arándano es la elección de las variedades más adecuadas, entre las consideraciones más importantes se encuentran las condiciones climáticas, época de maduración, calidad de fruto, destino de la fruta, resistencia de los frutos a la manipulación, tipo de recolección, alta productividad, buena conservación post cosecha, tamaño del punto de inserción con el pedúnculo, resistencia a plagas y enfermedades (García et al., 2018).

##### 1.5.1. Biloxi®

Actualmente es la variedad más utilizada en México, liberada en 1998 en Mississippi, presenta un crecimiento vigoroso con estructura arbustiva, requiere menos de 400 horas de frío (Retamales y Hancock, 2011). Es un tetraploide originado por el cruce de *V. corymbosum* quien aporta la mayor cantidad de genes, *V. angustifolium* Aiton, *V. ashei* Reade y *V. darrowii* Camp. Este último les otorga adaptabilidad a pocas horas frío (Spiers et al., 2002; Rebolledo, 2013). Es de hábito erecto, muy vigorosa, de producción temprana (Morales, 2017). Sus frutos son de tamaño pequeño a mediano, color azul claro, muy firme, tienen un peso medio de 1.47 g, contenido de sólidos solubles 13.4%, pH 3.2, acidez titulable 0.97% (Fall Creek Farm y Nursery, 2011; Spiers et al., 2002).

### **1.5.2. Victoria®**

Es una variedad de maduración media-tardía, arbusto vigoroso que sostiene la fruta en el exterior para una fácil recolección, sus frutos son grandes, firmes y color azul claro (Fall Creek Farm y Nursery, 2021).

### **1.5.3. AtlasBlue®**

Variedad de crecimiento vigoroso y erguido, con excelentes rendimientos, los frutos son de tamaño mediano a grande, uniformes, de color azul medio oscuro, aromáticos, con alta vida de anaquel (Fall Creek Farm y Nursery, 2021).

### **1.5.4. JupiterBlue®**

Creación muy reciente de Fall Creek Genetics™. Actualmente es la variedad de maduración más temprana del programa de cero frío, con altos rendimientos (García et al., 2018). Los frutos son de tamaño mediano, ligeramente planos, con una textura carnosa y frondosa, buena floración, se mantienen bien en almacenamiento en frío, tiene un sabor de acidez media y una cicatriz perfecta. La planta presenta la mitad del tamaño de un Biloxi, con un rendimiento competitivo durante la ventana de comercialización (Fall Creek Farm y Nursery, 2021).

### **1.5.5. BiancaBlue®**

Destaca por la alta calidad de su fruto y su alto contenido de grados Brix. Tiene hojas pequeñas, espaciamiento de entrenudos es similar al 'Biloxi'. El fruto es de color azul claro, con muy buena firmeza, sabor y pequeñas cicatrices. El establecimiento adecuado en el primer año es importante para los rendimientos futuros (Fall Creek Farm y Nursery, 2021).

## **1.6. Principales patógenos del cultivo de arándano**

La alta densidad de plantas y los altos niveles de nutrientes que se utilizan para mantener máximos niveles productivos en el cultivo de arándano, facilita el establecimiento y diseminación de enfermedades. Pueden alterar su desarrollo, acortar su vida productiva, afectar la calidad y cantidad del fruto, causando

considerables pérdidas económicas (Undurraga y Vargas, 2013). Por consiguiente, es importante conocer las patologías de esta especie, para elegir una estrategia preventiva o de control más eficiente y económica, así como también reducir costos operativos de la técnica utilizada, reducir la cantidad de insumos, las amenazas de degradación ambiental y los riesgos para la salud humana (Norris et al., 2002).

Existe un amplio rango de patógenos reportados en el cultivo de arándano, entre ellos se encuentran *Phytophthora cinnamomi* (Retamales y Hancock, 2012; Rebollar-Alviter et al., 2013), *Monilinia vaccinii-corymbosi*, *Botryosphaeria* spp., *Botryosphaeria corticis*, *Phomopsis vaccinii*, *Botrytis cinerea*, *Alternaria* spp., *Colletotrichum gloeosporioides*, *Colletotrichum acutatum*, *Pestalotiopsis* spp., *Truncatella* sp. (Espinoza et al., 2008), *Calonectria colhounii* (Sadowsky et al., 2011), *Dothichiza caroliniana* (Baino et al., 2007), *Pucciniastrum vaccinii* (Keith et al., 2008), *Armillaria* spp. (Prodorutti et al., 2009), *Thekopsora minima* (Rebollar-Alviter et al., 2011), *Alternaria tenuissima* (You et al., 2014), *Corynespora cassicola* (Onofre et al., 2016), *Pestalotiopsis photiniae* (Chen et al., 2010), *Pestalotiopsis clavispora* (Chen et al., 2016), *Fusarium oxysporum* (Liu et al., 2014), *Lasiodiplodia vaccinii* (Zhao et al., 2019), *Lasiodiplodia theobromae*, *Lasiodiplodia pseudotheobromae* (Wang et al., 2016), *Lasiodiplodia chinensis* (Dou et al., 2017), *Neofusicoccum parvum* (Yu et al., 2013), y *Neofusicoccum vitifusiforme* (Kong et al., 2010).

Adicionalmente, se han reportado algunas bacterias como *Pseudomonas syringae* (Retamales y Hancock, 2012) y *Xyllela fastidiosa* (Holland et al., 2013); incluyendo fitoplasmas como blueberry stunt phytoplasma y *Blueberry shoestring virus* (BBSSV), *Blueberry shock virus* (B1ShV), *Tomato ringspot virus* y el *Blueberry scorch virus* (B1ScV) (Sogai et al., 2009).

## **1.7. Principales enfermedades del cultivo de arándano**

### **1.7.1. Mancha foliar**

Los síntomas consisten en manchas de forma circular a irregular, color marrón claro a gris, de 1 a 5 mm de diámetro, con bordes distintos de color rojo oscuro (Lanoiselet et al., 2014), el agente causal es *Alternaria tenuissima* (You et al., 2014). Pertenece a

un género ditiospórico del orden Hyphomycetes, familia Dematiaceae, con una amplia distribución (Thomma, 2003). Se caracteriza por la producción de conidióforos simples y erectos, forman cadenas simples o ramificadas de conidios, los conidios son multicelulares, obclaviformes, de color oscuro (melanizado) con septas longitudinales y transversales (Simmons, 2007; Thomas, 2004). Se trata de un patógeno necrótrofo, es decir que mata las células del hospedante y obtiene energía de ellas (Dárcy et al., 2001). Las condiciones favorables para el establecimiento de conidios son lluvias mayores a 2 mm, presencia de humedad sobre la hoja mayor a 10 horas, humedad relativa superior al 80% y temperaturas óptimas que oscilen entre 18 a 28 °C, en casos extremos se puede reproducir de 4 a 34 °C (Shrestha et al., 2005; Torres, 2015). Se considera que las fuentes de inóculo primario son conidios producidos por micelio latente en terrenos de cultivo donde antes se presentó la enfermedad (Thomas, 2004). La susceptibilidad de las hojas o plantas envejecidas ha sido reportada en casi todos los sistemas de *Alternaria*-hospedante (Rotem, 1994). Moschini et al. (2014) indican que también puede ocasionar tizones en ramas y pudrición de frutos en pre y poscosecha.

El manejo de la enfermedad consiste en eliminar órganos afectados, disminuir la humedad foliar y evitar condiciones de estrés manteniendo el cultivo con una óptima fertilización. La estrategia de control químico tiene que estar basada en las condiciones meteorológicas favorables para el desarrollo de la enfermedad. Cuando aparecen los primeros síntomas en hojas, se recomiendan aplicaciones de fungicidas (Rivera et al., 2009).

Además de los factores abióticos, los factores nutricionales también intervienen en el desarrollo de las enfermedades. Por ejemplo, niveles altos de nitrógeno disminuyen la severidad de *Alternaria*, en cambio la deficiencia favorece la infección (Abuley et al., 2019), así como también las deficiencias de potasio incrementan su severidad (Zhao et al., 2013). Autores como Meena et al. (2015), indican que dosis adecuadas de zinc, cobre, azufre, potasio y manganeso (Simoglou y Dordas, 2006) contribuyen a disminuir la severidad de esta enfermedad.

### 1.7.2. Mancha anillada

Enfermedad causada por *Corynespora cassicola*. El agente causal fue reportado por primera vez afectando al arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en el centro de Florida en el año 2014 (Onofre et al., 2016). Este hongo pertenece al orden Pleosporales, familia Corynesporascaceae (MacKenzie et al., 2018). Este patógeno se ha reportado causando lesiones foliares redondas a irregulares, marrón rojizas, variando desde pequeños puntos a manchas necróticas de 1.5 cm de diámetro, rodeadas por un halo característico de color amarillo senescente, provocando una defoliación prematura (Onofre et al. 2016). Los parámetros ambientales para la germinación de esporas y el desarrollo de enfermedades son la humedad relativa mayor al 80%, la humedad en las hojas durante un período de 16 a 44 h, temperatura de 28 a 32 °C (Pernezny et al. 2000). Presenta conidióforos melanizados, de apariencia subhialina a marrón oscuro, lisos y septados, los conidios pueden ser solitarios o conectados en serie, subhialinos a negro verdoso, 400 a 500 µm de largo, 10 a 20 µm de ancho y 4 a 20 pseudoseptados. Las formas de los conidios pueden ser obclavadas, cilíndricas u ovaladas, curvas o rectas. Una característica distintiva de los conidios es el hilio, o el punto de unión del conidióforo, que suele parecer más grueso y oscuro que el resto de la espora. El micelio es blanco inicialmente pero posteriormente se torna gris oscuro (Qi et al., 2011). Se descubrió que produce clamidosporas a medida que el cultivo envejece, logra sobrevivir en residuos de cultivo, semillas y suelo (Onofre et al. 2016). Para el manejo de esta enfermedad Phillips et al. (2019), recomiendan la aplicación de fungicidas preventivos y monitoreo constante para detectar los primeros síntomas. Aparte de limitar los periodos de humedad en las hojas y la alta humedad dentro del área de producción. Junto con la implementación de podas de mantenimiento y eliminación de malezas para aumentar el flujo de aire.

Existen pruebas de la influencia del equilibrio nutricional de la planta en la resistencia a *C. cassicola*. Shuib et al. (2015) señalan que las plantas deficientes nutrimentalmente son más susceptibles a la infección de este patógeno. Estudios realizados por Santos et al. (2019), demostraron que altos contenidos de nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, azufre, cobre, hierro, zinc, magnesio, boro y manganeso están relacionados con menor

severidad de *C. cassicola*, aunque también señala que el factor genético es de gran importancia.

### **1.7.3. Mancha redonda**

Los síntomas comienzan con pequeños puntos marrones en las hojas de 3 a 4 mm de diámetro, posteriormente se convierten en manchas circulares, elípticas o irregulares de color marrón intenso con un halo rojo oscuro alrededor del margen (Chen et al., 2010; Luan et al., 2008). Esta enfermedad es ocasionada por *Pestalotiopsis photiniae* (Chen et al., 2010). El género *Pestalotiopsis* pertenece al orden Xylariales, familia Amphisphaeriaceae (Maharachchikumbura et al., 2013), sus especies tienen una distribución mundial, especialmente en ecosistemas tropicales y templados (Maharachchikumbura et al., 2013), donde causa manchas foliares, muerte regresiva de brotes, cancro costroso, clorosis severa, pudrición de fruta y enfermedades postcosecha (Das et al. 2010; Zhang et al., 2013), por ende, reduce la producción y causa grandes pérdidas económicas.

La infección se genera a través de conidios (Espinoza et al., 2008). Puede sobrevivir en condiciones climáticas adversas alojándose en residuos de cultivo, malezas, sustratos y suelo (McQuilken y Hopkins 2004). Elliott et al. (2004) mencionan que el inoculo puede llegar a la planta mediante salpicaduras de agua. Se desarrolla en temperaturas óptimas de 22 a 28 °C (Keith et al., 2006), y humedad relativa mayor al 80% (Chen et al., 2011). Las colonias del hongo son color blanco, en ocasiones presenta zonas grises pálidas o amarillentas en la parte aérea del micelio, produce acérvulos a partir de grupos de hifas, los conidios son estrechos en los extremos, rectos o curvos, con 5 células, ligeramente estrechados en los septos, con células terminales puntiagudas y hialinas, con dos o más apéndices apicales hialinos, las células intermedias son de color uniforme o variable, café pálido o casi negro, el apéndice basal es hialino, simple y rara vez se ramifica (Maharachchikumbura et al., 2011).

Adecuadas prácticas culturales como la eliminación de hojas infectadas, mayor ventilación del área productiva y disminución de densidades de plantación pueden disminuir la incidencia de esta enfermedad (Phillips et al., 2019).

Desde el punto de vista de la nutrición, Turner (2003) señala que la incidencia de *Pestalotiopsis* tiende a estar asociada con deficiencias de magnesio y potasio. A diferencia del efecto del silicio que se asocia con la reducción de la intensidad de la mancha foliar por *Pestalotiopsis* (Carré-Missio et al., 2010).

#### **1.7.4. Marchitez de puntas**

Recientemente ha adquirido gran importancia en el cultivo de arándano. El agente causal ha sido reportado como *Pestalotiopsis clavispora* (Chen et al., 2016; Zhao et al., 2014). Causa lesiones necróticas en la parte apical de las ramas, que posteriormente se fusionan y provocan la muerte de puntas. Las condiciones predisponentes para el desarrollo de esta enfermedad son temperaturas de 20 a 25 °C, con humedad relativa de 95 a 100% (Dung et al., 2016). El inóculo proviene de tejidos enfermos de arándanos, así como de otros huéspedes. Los conidios son diseminados por la lluvia y el viento (Cisternas y France, 2009). La colonia es de color blanco a cremoso con micelio denso, apariencia de crecimiento circular con acérvulos negros (Chen et al., 2016). Presenta conidios fusiformes a elipsoides con cinco células, las apicales y basales son hialinas, mientras que las centrales son de color marrón, con apéndice basal y de dos a cuatro apéndices apicales (Chamorro et al., 2016).

Esta enfermedad debe manejarse mediante poda sanitaria (García y García, 2010). Ara et al. (2017) indican que el extracto de Neem (100 ppm) y carbendazima (1000 ppm) muestran buenos resultados para controlar *P. clavispora*, así como los ingredientes activos cyprodynil + fludioxonil, boscalid + pyraclostrobina y azoxistrobina + difenoconazol (Obregón et al., 2018).

En relación a la nutrición, Motta et al. (2004) señalan que altas concentraciones de nitrógeno y deficiencias de potasio incrementan la severidad del patógeno *Pestalotiopsis*. Sin embargo, mencionan que niveles altos de calcio propician un mayor índice de daño por este patógeno, situación que atribuye a un efecto indirecto ya que mayores concentraciones de calcio causan una disminución en la concentración foliar de potasio.

### 1.7.5. Marchitez por *Fusarium* sp.

Esta enfermedad es ocasionada por *Fusarium oxysporum*, un patógeno ampliamente distribuido a nivel mundial generando pérdidas importantes en numerosos cultivos (Summerell et al., 2011). Fue reportado por primera vez afectando el cultivo de arándano en China en el año 2014 (Liu et al., 2014), los síntomas consisten en crecimiento reducido, pudrición radicular, marchitamiento y muerte de la planta. Pertenece al género Hypocreales, familia Nectriaceae y genero *Fusarium*.

Puede ingresar a través de heridas autogénicas propias del crecimiento radicular pero también puede verse favorecida por heridas radiculares realizadas por prácticas de labranza o presencia de nemátodos fitófagos (LaMondia, 2015). Se caracteriza por colonizar los haces vasculares de la planta impidiendo el paso de agua y nutrientes (Paynter et al., 2014). Se beneficia por ambientes con niveles de humedad relativa de 74 a 80% y temperaturas de 23 a 28 °C (Ramos et al., 2017). Es capaz de sobrevivir en forma de clamidosporas en el suelo, donde puede persistir hasta 10 años latente o como endófito en hospedantes alternativos. Las colonias de *Fusarium* son de aspecto algodonoso, aterciopelado o lanoso, la pigmentación es muy variable desde blanco, purpura, violeta o rosa. Presenta conidióforos simples y ramificados, macroconidios hialinos, curvos o semicurvos, con 3 a 5 septos, con extremo puntiagudo. Abundantes microconidios hialinos, de forma elíptica u oval, con 1 o 2 septos, las clamidosporas son globosas o subglobosas con paredes lisas (Lezcano et al., 2012).

Los tratamientos aplicados antes del trasplante con ingredientes activos específicos resultan efectivos para disminuir la incidencia de este tipo de enfermedades. Para el control de *Fusarium oxysporum* en arándano, Aneberries (2021) recomienda el uso de triflumizole al 43% como alternativa de control químico. Incluyendo cepas de *Bacillus amyloliquefaciens* y *Trichoderma harzianum* como control biológico.

Piotr et al. (2014) determinaron que la alta fertilización nitrogenada aumenta la incidencia de *Fusarium* spp., además, indican que al aplicar nitrógeno en forma de amonio incrementa la severidad. Otras investigaciones señalan que la deficiencia de boro favorece la intensidad de esta enfermedad (Singh et al., 2017).

Se ha demostrado que especies de *Fusarium* fabrican y secretan enzimas, como la polygalacturonasa, para atacar específicamente al pectato de calcio dentro de las estructuras de la pared celular, debilitando así las defensas y permitiendo la penetración de las hifas en los tejidos (De Lorenzo et al., 2001; Laing, 2011). El calcio es fundamental en la defensa de las células de plantas superiores contra la invasión patológica de microorganismos. Siendo el pectato de calcio el que forma una barrera que evita la invasión por patógenos, al mismo tiempo mantiene la flexibilidad de paredes que permiten la elongación y expansión de las células (Hepler, 2005; Lecourieux et al., 2006).

#### **1.7.6. Tizón de tallo y muerte regresiva**

Entre los principales agentes causales se encuentran los patógenos del orden Botryosphaerales y familia Botryosphaeriaceae (Slippers et al., 2013). Actualmente han sido reportados *Lasiodiplodia vaccinii* (Zhao et al., 2019), *Lasiodiplodia theobromae*, *Lasiodiplodia pseudotheobromae* (Wang et al., 2016), *Lasiodiplodia chinensis* (Dou et al., 2017), *Neofusicoccum parvum* (Yu et al., 2013) y *Neofusicoccum vitifusiforme* (Kong et al., 2010), como patógenos causantes de tizones y muerte regresiva en arándano. Espinoza (2009), menciona que algunas especies de *Neofusicoccum* causan infección coexistiendo con *Pestalotiopsis* spp., *Truncatella* spp., o *Phomopsis* spp.

Estos patógenos tienen un amplio rango de hospederos, incluidos monocotiledóneas y dicotiledóneas, se encuentran normalmente en climas tropicales, semidesérticos, templados y mediterráneo (Abdollahzadeh et al., 2010; Tovar, 2010; Wang et al., 2011). Se caracterizan por obstruir parcial o completamente el sistema vascular provocando una decoloración marrón-rojiza de tallos, muerte apical y regresiva de ramas, que conlleva a la muerte prematura de plantas (Inderbitzin et al., 2010; Wright y Harmon, 2010). Las hojas secas permanecen en los tallos recién muertos como una "bandera" marrón (Zhao et al., 2019).

Las especies del género *Lasiodiplodia* se caracterizan por la presencia de picnidios, paráfisis y estriaciones longitudinales en conidios maduros (Netto et al., 2014). Las colonias en medio de cultivo son de color blanco tornándose gris-olivo a los 7 días y

posteriormente adquieren un color negro (Alves et al., 2008). Presenta conidióforos hialinos, simples, algunas veces septados, cilíndricos. Las células conidiogénicas son hialinas, de pared gruesa, lisas, cilíndricas a sub-obpiriformes, holoblásticos, con una o dos anillaciones, los conidios son subovoides a elipsoidales, con ápices ampliamente redondeados, de paredes gruesas, con contenido granular, en un principio hialino y aseptados, convirtiéndose a café oscuro una vez maduros, con 1 septo, presentan depósitos de melanina en la superficie interior de la pared dispuestos longitudinalmente dando una apariencia estriada (Phillips et al., 2013). El rango de temperaturas que favorecen su desarrollo son 15 °C mínima, 28 °C como óptima y 40 °C como máxima (Alves et al., 2008) y humedad relativa del 80% (Tucuch et al., 2005).

Por otra parte, las especies de *Neofusicoccum* presentan conidióforos pequeños, el color del micelio varía del blanco a marrón oliva a oliváceo negro (Inderbitzin et al., 2010). Con picnidios emergentes en la epidermis, aislados o en grupo, lenticelar o subgloboso, los conidios maduros se caracterizan por ser hialinas a marrón pálido, lisas y paredes delgadas, cenocíticas, septadas, de contenido granular denso, fusiformes a elipsoidales, ápice truncado y parte central ensanchada (Inderbitzin et al., 2010, Pérez et al., 2011). Se desarrolla en temperaturas de 10 a 35 °C, pero se demostró un crecimiento óptimo a 25 °C (Espinoza, 2009).

Una opción importante para el manejo de esta enfermedad es elegir variedades resistentes o menos susceptibles, utilizar plantas libres de patógenos al momento de establecer plantaciones. Podar los tallos infectados de 15 a 20 cm por debajo de cualquier signo de madera enferma. Así como también la destrucción de plantas enfermas, debido a que la eficacia biológica de los fungicidas es baja (Michigan State University, 2021).

La deficiencia de calcio y la falta de protección a las ramas podadas constituyen puertas de entrada a hongos de la familia Botryosphaeriaceae, siendo altamente favorables para su desarrollo (Michereff, 2013). Vivas et al. (2005) asocian esta enfermedad con plantas debilitadas por deficiencias.

## **1.8. Sustratos**

El cultivo sin suelo, incluye el uso de sustratos, se considera como una técnica agronómica amigable con el medio ambiente y con el ser humano, dado que, mediante estos sistemas de producción, además de obtener rendimientos altos y productos de calidad, se logra un producto sano (Cruz et al., 2013). Tuvo su origen en el cultivo en contenedor o maceta, es una técnica que data desde aproximadamente 4000 años (Cruz et al., 2013; Raviv y Lieth, 2008). Entre las ventajas del uso de sustratos se encuentra un mejor control de plagas y enfermedades de raíz de diversas plantas (Chávez et al., 2009).

Abad et al. (2004) señalan que sustrato es todo material sólido distinto del suelo *in situ*, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, dando soporte para la planta. Se elaboran a partir de componentes inorgánicos y orgánicos (Raviv, 2013). Al elegir un material como sustrato se deben considerar varios aspectos para el crecimiento óptimo de las plantas, entre los criterios más importantes destacan características físicas, químicas y biológicas adecuadas, relación beneficio/costo, facilidad de manejo o compatibilidad en caso de realizar mezclas de materiales, supresividad de patógenos, reciclables, disminución del lavado de nutrientes, no contaminantes y que logren optimizar el consumo de agua (Cruz et al., 2013; Fernández et al., 2006; Grigatti et al., 2007).

### **1.8.1. Propiedades de los sustratos**

Un sustrato efectivo debe funcionar bien en dos áreas clave, primero, debe poseer las propiedades físicas, químicas y biológicas necesarias para apoyar el crecimiento sano de las raíces, proveer agua, aire y nutrientes a la planta, en el entorno desafiante de un contenedor, en segundo lugar, debe cumplir los requisitos prácticos del sistema de producción en el que se está utilizando (Barrett et al., 2016; Cruz et al., 2013). Es por ello que es de suma importancia determinar las características con metodologías específicas para sustratos (Carlile et al., 2015), con el objetivo de conocer sus propiedades para determinar el manejo más adecuado del sustrato (Cruz et al., 2010).

## **1.8.2. Propiedades físicas de los sustratos**

La caracterización física estudia la distribución volumétrica del material sólido, el agua, el aire, así como su variación en función del potencial matricial. Se consideran las más importantes, puesto que, una vez colocado el sustrato en los recipientes o contenedores no se pueden modificar estas propiedades (Cadahia, 2005; Reish, 2001). Por lo tanto, tienen relación directa con la cantidad de agua y nutrientes (Quintero et al., 2011).

### **1.8.2.1. Espacio poroso total**

El espacio poroso total es el volumen total del sustrato de cultivo no ocupado por partículas orgánicas ni minerales. Su nivel óptimo se sitúa por encima del 85% del volumen del sustrato. El total de poros se clasifica en microporos ( $< 30 \mu\text{m}$ ) que son los encargados de retener el agua, y los macroporos ( $> 30 \mu\text{m}$ ) que permiten la correcta aireación y drenaje del sustrato (Cadahia, 2005). La porosidad puede ser intraparticular o interparticular (Baixauli y Aguilar 2002; Morales y Casanova, 2015).

### **1.8.2.2. Agua fácilmente disponible**

Es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a 10 cm de tensión matricial, y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50 cm de columna de agua. Se requiere una tensión mínima de 10 cm (equivalente a 10 cm de altura del contenedor) para obtener un contenido mínimo de aire. El valor óptimo para el agua fácilmente disponible oscila entre 20 y 30 % del volumen (Abad et al., 2005; Cruz et al., 2013).

### **1.8.2.3. Agua de reserva**

El agua de reserva es la cantidad de agua en volumen, que libera un sustrato al pasar de una tensión de 50 a 100 cm de carga de agua. El nivel óptimo se sitúa entre 4 y 10% en volumen (Calderón y Ceballos, 2001; Vence et al., 2013).

#### **1.8.2.4. Agua difícilmente disponible**

Es el volumen de agua retenida por el sustrato tras ser sometido a una tensión superior a 100 cm columna de agua equivalente a 10 kPa (Vence et al., 2013). El agua contenida a tensiones mayores a 100 cm de carga de agua es muy poco accesible para el cultivo, pues representa una fracción muy pequeña de agua retenida por el sustrato (Vence et al., 2013). Baixauli y Aguilar (2002), mencionan que en estas circunstancias se produce una incapacidad por parte de la planta para extraer el agua del sustrato, llegando a mostrar síntomas de marchitez.

#### **1.8.2.5. Capacidad de aireación**

La capacidad de aireación es la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después de que ha sido saturado con agua y dejado drenar usualmente a 10 cm de tensión. Su valor óptimo es de 20-30 % en volumen (Morales y Casanova, 2015).

#### **1.8.2.6. Densidad aparente y densidad real**

Cadahía (2005) define a la densidad aparente como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del sustrato húmedo, donde incluye el espacio poroso entre las partículas. Los valores para sustratos son de 0.03 a 1.4 g cm<sup>-3</sup> (Abad y Noguera, 2000). Por otra parte, la densidad real se define como el cociente entre la masa de las partículas del medio de cultivo y el volumen que ocupan, sin considerar los poros y huecos, no depende del grado de compactación, ni del tamaño de partícula (Cruz et al., 2013).

### **1.8.3. Propiedades químicas**

Las propiedades químicas de un sustrato establecen la transferencia de materia entre el sustrato y la solución, constituyendo sustratos de alta calidad (Barbaro et al., 2018).

#### **1.8.3.1. Capacidad de intercambio catiónico**

Es la suma de los cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato, estos cationes quedan retenidos ante el efecto lixiviante del agua quedando disponibles para la planta (Urrestarazu, 2004 y Cadahia, 2005). El

valor óptimo de la capacidad de intercambio catiónico de sustratos depende de la frecuencia de la fertirrigación (Abalos et al., 2014).

#### **1.8.3.2. Disponibilidad de nutrientes**

Los sustratos orgánicos difieren marcadamente entre sí en el contenido de nutrientes asimilables, algunos como la turba, corteza de pino, mantillo de bosque, entre otros, poseen un nivel reducido de nutrientes asimilables o sustratos inorgánicos que por lo general son inertes (Cruz et al., 2013), mientras que los compost presentan niveles elevados, dependiendo del origen y del proceso de compostaje (Urrestarazu, 2004; Cadahia, 2005).

#### **1.8.3.3. Potencial hídrico (pH)**

El pH está relacionado con la asimilación de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. El rango de pH para plantas en contenedor oscila entre 5.2 y 6.3 y en el caso del cultivo hidropónico de hortalizas, el valor óptimo del pH (solución del sustrato) se sitúa entre 5.5 y 6.8 (Quintero et al., 2011). A 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, K, Ca, y Mg, mientras que por encima de pH 6.5 puede disminuir la disponibilidad de Fe, P, Mn, B, Zn Y Cu (Barbaro et al., 2018; Cadahia, 2005).

#### **1.8.3.4. Conductividad Eléctrica**

La Conductividad Eléctrica expresa la capacidad para conducir la corriente eléctrica. Mide indirectamente la concentración de sales en solución y el valor se expresa en  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  o  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Los valores de salinidad ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) oscilan en  $< 0.74$  muy baja,  $0.75 - 1.99$  adecuada para sustratos ricos en materia orgánica, demasiado baja si el sustrato es pobre en materia orgánica,  $2.0 - 3.49$  satisfactoria, de  $3.50 - 5.0$  ligeramente elevado, y  $> 5.0$  puede reducir el crecimiento, presentar plantas enanas, marchitamiento y quemaduras en bordes de la hoja (Cadahia, 2005; Kaymakanova, 2009).

## **1.9. Sustratos utilizados en el cultivo de arándano**

El arándano cultivado en sistemas hidropónicos es menos común que el cultivo en suelo, sin embargo, se ha demostrado que se pueden obtener amplios beneficios (Cruzat y Mancilla, 2010). La técnica de cultivo sin suelo permite obtener una mayor calidad y sanidad en el fruto cosechado, además, incrementa la productividad por planta, volviendo eficiente el uso de agua y fertilizantes (Quintero et al., 2011; Beltrano y Giménez, 2015). La idoneidad del sustrato, está sujeta a la buena gestión agronómica, Pastor (2002) menciona que 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 algún componente que frene el crecimiento de la planta.

### **1.9.1. Fibra de coco**

La fibra de coco (*Cocos nucifera* L.) es un material orgánico de lenta descomposición que resulta como subproducto de las plantaciones de coco de los países situados en los trópicos. Consiste en partículas de lignina y celulosa, con una relación C/N de 80; en general, se utiliza fresca. En los últimos años ha incrementado el uso de este sustrato, debido a características como: alta capacidad de amortiguamiento térmico en temperaturas ambientales extremas siendo superior a otros sustratos como perlita o lana de roca, alta capacidad de retención de agua, durabilidad de más de cinco años, densidad aparente baja y buena disponibilidad de nutrientes (Quintero et al., 2011). Presenta un pH que varía entre 4 y 7, su CE varía entre 1 y 6 dS·m<sup>-1</sup>. Esta elevada conductividad se puede presentar por el lavado de cocos o el contacto de las fibras con aguas de mar en las zonas de origen. El contenido de materia orgánica es de 85 a 90% (método de calcinación), CIC entre 20 y 30 meq·100 g<sup>-1</sup>, porosidad total superior al 80%, conductividad hidráulica elevada y la densidad varía entre 0.05 y 0.10 g de masa seca por cm<sup>3</sup> (Abad et al., 2005).

Contiene cantidades altas de lignina, propiedad que favorece la presencia de microorganismos benéficos en la zona radicular, convirtiéndolo en un medio de cultivo idóneo. Su adecuado equilibrio entre retención de agua y capacidad de aireación

evitan el desarrollo de enfermedades de origen fúngico en las raíces, derivadas por exceso de humedad (AEFA, 2021; Ludwig et al., 2010).

### **1.9.2. Turba**

La turba proveniente de *Sphagnum*, está formada por Carbono (C), Oxígeno (O), Hidrógeno (H) y Nitrógeno (N), los cuales están en rangos de 40 a 60%, 20 a 40%, 4 a 6% y 0 a 5%, respectivamente (Katase et al., 1991; Huat et al., 2011). La distribución del tamaño de las partículas estimada por el índice de grosor se sitúa alrededor del 44%, presenta baja densidad aparente ( $0.4$  a  $0.08 \text{ g cm}^{-3}$ ), porosidad total elevada (95 a 97%), suficiente contenido de aire (15 a 40% en volumen), alta capacidad de retención de agua (55 a 85%), agua disponible (25% en volumen), pH inferior a 4.0, conductividad eléctrica de  $0.5 \text{ dS m}^{-1}$  y su capacidad de intercambio catiónico aumenta con el grado de descomposición (Castellanos, 2003).

Además, la turba presenta un microbioma que puede apoyar a la planta en la defensa de patógenos (Shcherbakov et al., 2013) y la tolerancia al estrés (Opelt et al., 2007).

### **1.9.3. Perlita**

La perlita es un silicato aluminico-magnésico que se extrae de yacimientos de origen volcánico, tratándose en hornos especiales hasta la temperatura de  $1,400 \text{ }^{\circ}\text{F}$  ( $760 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), dicho proceso da un material estéril. Actualmente se comercializan distintos tipos de perlita, que se diferencian en el tamaño de partícula y en su densidad. Se caracteriza por absorber de tres a cuatro veces su peso en agua (Vázquez, 2002). Autores como Castellanos y Vargas (2003), indican que es un sustrato con excelente drenaje, es ligero, de muy baja capacidad de intercambio catiónico, por lo que es un buen sustituto de arena, pero con la ventaja de ser mucho más ligero y de fácil manejo. Presenta un pH de 6 a 8 (Vázquez, 2002), una densidad de  $0.1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , Capacidad de Intercambio Catiónico de  $3 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ , porosidad de 75% y salinidad muy baja. Es un material inerte que no se descompone biológica ni químicamente. Se considera desprovista de nutrientes. Sin embargo, al usar soluciones nutritivas con pH menor a 5 puede liberar aluminio (Castellanos, 2003). Es uno de los mejores medios de cultivo, es posible

cultivar la mayoría de plantas en perlita sola, con el mismo éxito que las mezclas de turba tradicionales (Markoska et al., 2018).

Actualmente la perlita ha surgido como un excelente medio de crecimiento, su fuerte atracción capilar extrae la solución del fondo del contenedor a una velocidad similar a la que las plantas absorben agua y nutrientes dejando el exceso de solución en el depósito. De esta manera, permite condiciones de humedad óptimas cerca del área radicular (Asaduzzaman et al., 2018; Hanna, 2010).

#### **1.9.4. Tezontle**

El tezontle es un material procedente de la erupción de volcanes y está constituido por silicatos de aluminio, formado por fragmentos de lava porosa, redondos e irregulares. Se utilizan como aditivos o enmiendas físicas de materiales orgánicos, debido a sus características (Ojodeagua et al., 2008). Son de color rojizo y negro, en ambos casos ha demostrado ser buen material para cultivar hortalizas. Es un material considerado inerte, con valores de pH cercanos a la neutralidad, baja CIC, buena aireación, y con capacidad de retención de humedad que es dependiente del diámetro de la partícula, adicionalmente, no contiene sustancias tóxicas y tiene estabilidad física (Bastida, 1999). Cruz et al. (2012) reportaron valores de pH, CE, CIC y contenido de materia orgánica para tezontle de 7.1, 0.08 dS m<sup>-1</sup>, 2.7 cmol kg<sup>-1</sup> y 0%, respectivamente.

Presenta una proporción variable de porosidad interna, que incluye al volumen de poros cerrados, que no están conectados con los poros externos y son espacios que no pueden ser ocupados por el agua, y por lo tanto no intervienen en la relación agua aire del sustrato (Vargas et al., 2008). La ventaja de este tipo de porosidad es que facilita el traslado, cribado y llenado de contenedores al disminuir la densidad aparente del tezontle (Lemaire et al., 2003; Rodríguez et al., 2013). En algunas plantaciones de arándano utilizan el tezontle de granulometría gruesa para colocarlo en el fondo del contenedor con la finalidad de facilitar el drenaje y evitar pérdidas de sustrato.

#### **1.10. Influencia de sustratos en la supresión de patógenos**

La capacidad de supresión en el sistema de cultivo sin suelo, se correlaciona directamente con el establecimiento de una microflora activa e inespecífica (Postma,

2009). Cada sustrato tiene una composición microbiana diferente, de acuerdo con Montagne et al. (2017) el sustrato a base de fibra de coco presenta mayor cantidad de Proteobacterias y sordariomicetos, en las fibras de madera predominan Proteobacterias y Eurotiomicetos; mientras que en turba es mayor el número de actinomicetos filamentosos, Flavobacterias, Leotiomycetes y Sordariomycetes. Por otra parte, Khalil y Alsanius (2001), mencionan que en lana de roca las cifras mayores son bacterias aeróbicas y pseudomonas.

La diferencia fundamental con el suelo es que muchos sistemas sin suelo no contienen una fracción orgánica, la que es una importante fuente de nutrientes para microorganismos. El suelo es un sustrato microbiológicamente rico, que en general contiene  $10^7$  -  $10^9$  unidades formadoras de colonias (CFU) de bacterias y  $10^4$  -  $10^6$  propágulos de hongos cultivables por gramo de suelo agrícola (Postma, 2009). A diferencia del suelo, los sistemas sin suelo generalmente comienzan con un vacío microbiológico, carentes de una microflora diversa y competitiva, debido al uso de sustratos nuevos o esterilizados, que son caracterizados como estériles, por lo que contienen niveles inferiores de microorganismos en comparación con el suelo, los recuentos de placas bacterianas mostraron que  $10^5$  -  $10^7$  UFC de bacterias están presentes por mL de solución nutritiva dependiendo del tipo de cultivo, edad y tipo de cultivo sin suelo (Calvo et al., 2006; Postma, 2009).

Philippot et al. (2013), señalan que el cultivo y el sustrato de la planta pueden afectar a la comunidad microbiana y su función. Los exudados liberados por las plantas varían entre las especies, así como entre cultivares (Bakker et al., 2012), y por lo tanto albergan una comunidad microbiana única de la rizósfera (Bulgarelli et al., 2015). Estudios indican que el sustrato es de mayor importancia en la composición microbiana en comparación con las especies o genotipos de plantas (Lundberg et al., 2012; Nallanchakravarthula et al., 2014).

La textura y estructura del sustrato, la materia orgánica, el pH y los nutrientes determinan el tipo de comunidad microbiana presente (Garbeva et al., 2004). Weinert et al. (2011) analizaron las comunidades bacterianas en el cultivo de papa, de dos sitios en campo y descubrieron que el 40% de las unidades taxonómicas operacionales

eran específicas de cada lugar, mientras que sólo el 4% eran específicos de cada cultivo.

En los siguientes ejemplos se demuestra como los diferentes sustratos se asocian con la supresividad de patógenos. Postma et al. (2005), indican la supresión del patógeno *Pythium aphanidermatum* en pepino establecido en lana de roca debido a la microflora presente en este sustrato. Otras investigaciones mostraron la supresión de turbas hacia *Pythium sylvaticum* por el alto contenido de bacterias *Rhizobium-Agrobacterium* y *Acidobacteria*, además, de basidiomicetos y algunos géneros de levadura (Hunter et al., 2006).

También existen reportes donde señalan que las propiedades físicas y químicas de un sustrato pueden influir en la supresión de la enfermedad, usando un sustrato con bajo contenido de agua, como la perlita en lugar de lana de roca, es una estrategia para evitar el desarrollo de *Pythium* en el cultivo, esta capacidad de supresión se atribuye a un menor nivel de agua libre disponible para el transporte de zoosporas de *Pythium* o a una morfología de las raíces en lugar de la presencia de una microflora supresora (Van Der Gaag y Wever, 2005).

Munévar (2004), menciona que los elementos esenciales para las plantas influyen en algunas enfermedades, y aunque ningún nutriente las combate, pueden reducir la severidad de la mayoría de ellas utilizando una nutrición adecuada. La nutrición que permite el crecimiento óptimo de los cultivos se considera también óptimo para que las plantas resistan el ataque de los patógenos.

## 2. LITERATURA CITADA

- Abad, B. M., Noguera, P. M. (2005). *Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación*. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España. 299-352 pp.
- Abad, M. y Noguera, P. (2000). Sustratos para el cultivo sin suelo. En: *Manual de cultivo sin suelo*. Urrestarazu, M. (ed.) Manuales Universidad de Almería, Servicio de Publicaciones. Almería, España. 137-182 pp.
- Abad, M., Fornes, F., Carrión, C., Noguera, V., Noguera, P., Maquieira, A., and Puchades, R. (2005). Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *HortScience*, 40(7):2138-2144.
- Abalos, D., Sanchez, M. L., Garcia, T. L., van Groenigen, J. W., Vallejo, A. (2014). Management of irrigation frequency and nitrogen fertilization to mitigate GHG and NO emissions from drip-fertigated crops. *Science of The Total Environment* 490, 880–888.
- Abdollahzadeh, J., Javadi, A., Mohammadi, G., Zare, E. R. and Phillips A. J. L. (2010). Phylogeny and morphology of four new species of *Lasiodiplodia* from Iran. *Persoonia* 25:1-10.
- Abuley, I. K., Nielsen, B. J., and Hansen, H. H. (2019). The influence of timing the application of nitrogen fertilizer on early blight (*Alternaria solani*). *Pest management science*, 75(4), 1150-1158.
- Alarcón, A. L. (2000). *Tecnología para cultivos de alto rendimiento*. España: Novedades Agrícolas, 459.
- Alkharouf, N. W., Dhanaraj, A. L., Naik, D., Overall, C., Matthews, B. F., and Rowland, L. J. (2007). BBGD: an online database for blueberry genomic data. *Biomed Central Plant Biology* 7:1-7.
- Alves, A., Crous, P. W., Correia, A. and Phillips, A. J. L. (2008). Morphological and molecular data reveal cryptic speciation in *Lasiodiplodia theobromae*. *Fungal Diversity* 28:1-13.
- Aneberries. (2021). *Lista de plaguicidas autorizados para arándano*. Recuperado el 21 de abril del 2021 de: <http://www.aneberries.mx/lista-de-plaguicidas-20-2>.
- Ara, T., Monzur, S., Saand, M. A., Islam, R., Alam, S. and Hossain, M. (2017). The first report of *Pestalotiopsis* sp. Causing crown rot disease on strawberry (*Fragaria xananassa* Duch) in Bangladesh and evaluation of fungicide activity. *International Journal of Biociences* 11(4): 350-358.
- Asaduzzaman, M., Talukder, M., Tanaka, H., Ueno, M., Kawaguchi, M., Yano, S., and Asao, T. (2018). Production of low-potassium content melon through hydroponic nutrient management using perlite substrate. *Frontiers in plant science*, 9, 1382.
- Asociación Española de Fabricantes de Agro nutrientes. (2021). *Sustrato fibra de coco*. Recuperado el 27 de abril del 2021 de: <https://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-enagronutricion/fibra-de-coco>.

- Baino, O., Ramallo, A. C., Hongn, S. and Ramallo, J. C. (2007). First report of *Dothichiza caroliniana* causing double spot on high bush blueberry in South America. *Plant disease* 91:1685.
- Baixauli, S. C. y Aguilar, J. O. M. (2002). *Cultivo sin suelo de hortalizas: Aspectos Prácticos y Experiencias*. Editorial Generalitat Valenciana. Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, España. 107 p.
- Bakker, M. G., Manter, D. K., Sheflin, A. M., Weir, T. L., Vivanco, J. M. (2012). Harnessing the rhizosphere microbiome through plant breeding and agricultural management. *Plant Soil*. 360, 1–13.
- Barbaro, L. A., Karlanian, M. A. y Mata, D. A. (2018). *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, p. 10.
- Barrett, G. E., Alexander, P. D., Robinson, J. S. y Bragg, N. C. (2016). Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant growing systems: a review. *Scientia Horticulturae*. 212, 220-234.
- Bastida, A. (1999). El medio de cultivo de las plantas. Sustratos para hidroponía y producción de plantas ornamentales. Serie de Publicaciones AGRIBOT Núm. 4 Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Texcoco, Estado de México. 72 p.
- Beltrano, J. y Giménez, O. D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Beltrano, J., y Giménez, O. D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Bender, G., Menge, J. and Arpaia, M. (2012). Avocado rootstocks. In Avocado production in California a cultural handbook for growers (series book One-Background information). Bender, G., Arpaia, M., Francis, L., Menge, J., Shepherd, J., Smothers, V. Publication The University of California; Cooperative extension, San Diego County and The California Avocado Society, supported by the California Avocado Commission. Second edition. P 20-30.
- Bulgarelli, D., Garrido, O. R., Münch, P. C., Weiman, A., Dröge, J., Pan, Y., McHardy, A. C., Schulze, L. P., (2015). Structure and function of the bacterial root microbiota in wild and domesticated barley. *Cell Host Microbe* 17, 392–403.
- Burés, S. (1997). *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas, Madrid, España. 341 p.
- Cadahia, L. C. (2005). *Fertirrigación cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. Editorial Mundi Prensa. México. 681 p.
- Calderón, F. y Cevallos F. (2001). *“Los sustratos”*. Dr. Calderón laboratorios Ltda. Bogotá, Colombia.
- Calvo, B. L. A., Petch, G., Parsons, N. R., Morgan, J. A. W., Pettitt, T. R., Whipps, J. M. (2006). Microbial community responses associated with the development of oomycete plant pathogens on tomato roots in soilless growing systems. *Appl Microbiol* 100:1194–1207.

- Carlile, W. R., Cattivello, C. y Zaccheo, P. (2015). Organic growing media: Constituents and properties. *Vadose Zone Journal* 14(6), 1-13.
- Carré-Missio, V., Rodrigues, F. A., Schurt, D. A., Rezende, D. C., Ribeiro, N. B. and Zambolim, L. (2010). Aplicação foliar de silicato de potássio, acibenzolar-S-metil e fungicidas na redução da mancha de *Pestalotia* em morango. *Patologia de plantas tropicales*, 35: 182-185.
- Castellanos, J. Z. (2003). Los Sustratos en la Producción Hortícola bajo Invernadero. En: Memorias en CD de cursos internacionales de producción de tomate en invernadero. Cuernavaca, Morelos, México.
- Castellanos, Z. J. y Vargas, T. P. (2003). El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero. En: *Manual de producción hortícola en invernadero*. Muñoz, R. J. J. y Castellanos, J. Z. (eds.). INCAPA. México. 130-156 pp.
- Chamorro, M., Aguado, A., Santos, B. (2016). First report of root and crown rot caused by *Pestalotiopsis clavispora* (*Neopestalotiopsis clavispora*) on strawberry in Spain. *Plant Disease*. 100(7): 1495.
- Chávez, A. N., Romantchik K. E., Gracia, L. C., Velázquez, B. M. (2009). Desinfección en estático con calor de sustratos. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 1: 127-136.
- Chen, C. Q., Zhang, B., and Gao, J. (2010). Leaf spot disease of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*) caused by *Pestalotiopsis photiniae* newly reported in China. *New Disease Reports*, 22(1), 31-31.
- Chen, C. Q., Zhang, B., and Gao, J. (2010). Leaf spot disease of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*) caused by *Pestalotiopsis photiniae* newly reported in China. *New Disease Reports*, 22(1), 31-31.
- Chen, C., Zhang, B., Yang, L., and Gao, J. (2011). Identification and biological characteristics of round leaf spot on blueberry caused by *Pestalotiopsis photiniae*. *Journal of Northeast Forestry University*, 39(1), 95-98.
- Chen, Y., Zhang, A. F., Yang, X., Gu, C. Y., Kyaw, E. P., Yi, X. K., and Xu, Y. L. (2016). First report of *Pestalotiopsis clavispora* causing twig blight on highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) in Anhui province of China. *Plant Disease*, 100(4), 859.
- Cisternas E. y France A. (2009). *Manual de campo. Plagas, enfermedades y desórdenes fisiológicos del arándano en Chile*. Chillán, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Boletín INIA N° 189. p. 88.
- Cório da Luz, W. (2012). *Micología Avanzada*. Volumen III B. Taxonomía de hongos anamórficos. Coelomicetos. RAPP, Passo Fundo.
- Cruz, C. E., Can, C. A., Sandoval, V. M., Bugarín, M. R., Robles B. A., Juárez, L. P. (2013). Sustratos en la agricultura. *Revista Bio Ciencias*. 2 (2): 17-26.
- Cruzat, G. R., y Mancilla, V. B. (2010). *Sustratos de Arándanos en Condiciones de Aridez*. Ministerio de agricultura. Chile. 46 p.
- Cruzat, G. R., y Mancilla, V. B. (2010). *Sustratos de Arándanos en Condiciones de Aridez*. Ministerio de agricultura. Chile. 46 p.

- Dárcy, C. J., Eastburn, D. M. and Schuman, G. L. (2001). *Illustrated glossary of plant pathology*. The American Phytopathological Society. Education Center.
- Das, R., Chutia, M., Das, K., and Jha, D. K. (2010). Factors affecting sporulation of *Pestalotiopsis disseminata* causing grey blight disease of *Persea bombycina* Kost., the primary food plant of muga silkworm. *Crop Protection*, 29(9), 963-968.
- De Lorenzo, G., D'Ovidio, R., and Cervone, F. (2001). The role of polygalacturonase-inhibiting proteins (Pgips) in defense against pathogenic fungi. *Annual Review of Phytopathology*, 39:313-335.
- Dou, Z. P., He, W., and Zhang, Y. (2017). *Lasiodiplodia chinensis*, a new holomorphic species from China. *Mycosphere*, 8(2), 521-530.
- Dung, L. N., Hoang D. P., Ngoc, T. P. (2016). The first report of *Pestalotiopsis* sp. causing crown rot disease on strawberries in Dalat. *Dalat University Journal of Science*. 6(3): 364-376.
- Elliott, M. L., Broschat, T. K., Uchida, J. Y., Simone, G. W. (2004). *Diseases and disorders of ornamental palms*. American Phytopathological Society, St. Paul.
- Espinoza, J. G., Briceno, E. X., Keith, L. M., and Latorre, B. A. (2008). Canker and Twig Dieback of blueberry caused by *Pestalotiopsis* spp. and a *Truncatella* sp. in Chile. *Plant Dis* 92:1407–1414.
- Espinoza, J. G., Briceño, E. X., Chávez, E. R., Úrbez, T. J. R., and Latorre, B. A. (2009). *Neofusicoccum* spp. associated with stem canker and dieback of blueberry in Chile. *Plant Disease*, 93(11), 1187-1194.
- Espinoza, J. G., Briceño, E. X., Keith, L. M. and 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.
- Fall Creek Farm & Nursery, Inc. (2021). *Varietades de arándano*. Recuperado el 20 de marzo del año 2021 de [www.fallcreeknursery.com](http://www.fallcreeknursery.com).
- FAOSTAT. (2021). *Producción mundial de arándano*. Recuperado el 22 de febrero 2021 de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Fernández, B. C., Urdanet, N., Silva, W. (2006). Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) Cv. Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. *Revista Facultad de Agronomía*, 23: 188-196.
- Garbeva, P., van Veen, J. A., van Elsas, J. D., (2004). Microbial diversity in the soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annu. Rev. Phytopathol.* 42, 243–270.
- García, R. J. C. y García G. G. L. (2010). *Guía del cultivo: orientaciones para el cultivo del arándano*. Asturias, España: Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario. p. 23.
- García, R. J. C., García, G. G., Ciordia, A. M. (2018). *El cultivo del arándano en el norte de España*. España, Asturias: SERIDA.

- Grigatti, M., Giorgioni, M. E., Cavani, L., Ciavatta, V. (2007). Vector analysis in the study of the nutritional status of *Philodendron* cultivated in compost-based media. *Scientia Horticulturae*, 112: 448-455.
- Hanna, H. Y. (2010). Reducing time and expense to recycle perlite for repeat use in greenhouse tomato operation. *Horttechnology* 20, 746–750.
- Hepler, P. K. (2005). Calcium: A central regulator of plant growth and development. *The Plant Cell* 17:2142- 2155.
- Herrera, L. M. (2009). La nutrición mineral como herramienta en el control de plagas y enfermedades en las plantas. *Cuba tabaco* 10(1): 72-77.
- Holland, R. M., Christiano, R. S. C., Gamliel, E. A. and Scherm, H. (2013). Distribution of *Xylella fastidiosa* in blueberry stem and root sections in relation to disease severity in the field. *Plant Disease* 98 (4): 443-447.
- Huat, B. B., Kazemian, S., Prasad, A. y Barghchi, M. (2011). Revisión del estado del arte de la turba: perspectiva general. *Revista Internacional de Ciencias Físicas*, 6 (8), 1988-1996.
- Hunter, P. J., Petch, G. M., Calvo, B. L. A., Pettitt, T. R., Parsons, N. R., Morgan, J. A. W., Whipps, J. M. (2006) Differences in microbial activity and microbial populations of peat associated with suppression of damping-off disease caused by *Pythium sylvaticum*. *Appl Environ Microbiol* 72:6452–6460.
- Hunter, P. J., Petch, G. M., Calvo, B. L. A., Pettitt, T. R., Parsons, N. R., Morgan, J. A. W., Whipps, J. M. (2006). Differences in microbial activity and microbial populations of peat associated with suppression of damping-off disease caused by *Pythium sylvaticum*. *Environ Microbiology* 72:6452–6460.
- Inderbitzin, P., Bostok, M., Trouillas, F. and Michailides, T. (2010). A six locus reveals high diversity in *Botryosphaeriaceae* from California almond. *Mycology*, 102(6). 1350 -1368.
- Katase, T., Hirotya, S., Naoi, M., Yamamoto, K., Sumida, H. (1991). A comparison of phenolic constituents in peat soils between subfrigid area, Japan and tropical areas of peninsular Malaysia and Thailand. In: *Tropical Peat*. Aminuddin, B. Y. (Ed.). MARDI, Malaysia, pp. 57-65.
- Kaymakanova, M. (2009). Effect of salinity on germination and seed physiology in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 23(sup1), 326-329.
- Keith, L. M., Velásquez, M. E., and Zee, F. T. (2006). Identification and characterization of *Pestalotiopsis* spp. causing scab disease of guava, *Psidium guajava*, in Hawaii. *Plant Disease* 90: 16–23.
- Keith, L., Sugiyama, L., Strauss, A., Kai, R., Zee, F., Hamasaki, R., Yamasaki, M. and Nakamoto, S. (2008). First report of leaf rust of blueberry caused by *Pucciniastrum vaccinii* in Hawaii. *Plant Disease* 92 (11): 1590-1597.

- Khalil, S., Alsanius, B. W. (2001). Dynamics of the indigenous microflora inhabiting the root zone and the nutrient solution of tomato in a commercial closed greenhouse system. *Gartenbauwissenschaft* 66:188–198.
- Kong, C. S., Qiu, X. L., Yi, K. S., Yu, X. F., and Yu, L. (2010). First report of *Neofusicoccum vitifusiforme* causing blueberry blight of blueberry in China. *Plant Disease*, 94(11), 1373-1373.
- Kumar, D., Maurya, N., Kumar, B. Y., Kumar, A., Srivastava, K., Chand, G., Kushwaha, C., Kumar, S. S., and Kumar, M. R. (2014). *Alternaria* blight of oilseed Brassicas: A comprehensive review. *Microbiology* 8(30): 2816-2829.
- Laing, D. (2011). La deficiencia transitoria de calcio como la causa primordial de la pudrición de cogollo en la palma de aceite. *Informaciones agronómicas del IPNI*, 3, 26-52.
- LaMondia, J. A. (2015). Fusarium wilt of tobacco. *Crop Protection*, 73:73–77.
- Lecourieux, D., Ranjeva, R., and Pugin, A. (2006). Calcium in plant defence-signalling pathways. *New Phytologist*, 171:249–269.
- Lemaire, F. (1995). Physical, chemical and biological properties of growing medium. *Acta Horticulture*. 396: 273-284.
- Lemaire, F., Fatigues, A., Revière, L. M., Charpentier, S. and Morel, P. (2003). *Cultures en post et conteneurs: principes agronomiques et applications*. Editions Quae. INRA. Paris.
- Lezcano, J. C., Martinez, B., Alonso, O. (2012). Caracterización cultural y morfológica e identificación de diez aislamientos de *Fusarium* procedentes de semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Peru almacenadas. *Pastos y forrajes*, 35(2), 187-196.
- Liu, Y. H., Lin, T., Ye, C. S., and 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.
- Luan, Y. S., Shang, Z. T., Su, Q., Feng, L., An, L. J. (2008). First Report of a *Pestalotiopsis* sp. causing leaf spot of blueberry in China. *Plant Disease* 92, 171.
- Ludwig, F., Guerrero, A., Fernández, D., e Villas, R. (2010). Análise de crescimento de gérbera de vaso conduzida em diferentes substratos. *Horticultura Brasileira* 28(1): 70-74.
- Lundberg, D. S., Lebeis, S. L., Paredes, S. H., Yourstone, S., Gehring, J., Malfatti, S., Tremblay, J., Engelbrekton, A., Kunin, V., Rio, T. G., Edgar, R. C., Eickhorst, T., Ley, R. E., Hugenholtz, P., Tringe, S. G., Dangl, J. L. (2012). Defining the core *Arabidopsis thaliana* root microbiome. *Nature* 488, 86–90.
- MacKenzie, K. J., Sumabat, L. G., Xavier, K. V., and Vallad, G. E. (2018). A review of *Corynespora cassiicola* and its increasing relevance to tomato in Florida. *Plant Health Progress*, 19(4), 303-309.
- Maharachchikumbura, S. N., Hyde, K. D., Groenewald, J. Z., Xu, J., Crous, P. W. (2014). *Pestalotiopsis* revisited. *Stud. Mycology*, 79, 121–186.

- Maharachchikumbura, S. S. N., Guo, L. D., Cai, L., Chukeatirote, E., Wu, W. P., Sun, X., Crous, P. W., Bhat, D. J., McKenzie, E. H. C., Bahkali, A. H. and Hyde, K. D. (2012). A Multi-Locus Backbone Tree for *Pestalotiopsis*, with a Polyphasic Characterization of 14 New Species. *Fungal Diversity*, 56, 95-129.
- Maharachchikumbura, S. S. N., Guo, L. D., Chukeatirote, E. (2011). *Pestalotiopsis* morphology, phylogeny, biochemistry and diversity. *Fungal Diversity* 50, 167.
- Maharachchikumbura, S. S., Chukeatirote, E., Guo, L. D., Crous, P. W., Mckenzie, E. H., and Hyde, K. D. (2013). *Pestalotiopsis* species associated with *Camellia sinensis* (tea). *Mycotaxon*, 123(1), 47-61.
- Markoska, V., Spalevic, V., Lisichkov, K., Atkovska, K., and Gulaboski, R. (2018). Determination of water retention characteristics of perlite and peat. *Agriculture and Forestry/Poljoprivreda i Sumarstvo*, 64(3).
- McQuilken, M. P., and Hopkins, K. E. (2004). Biology and integrated control of *Pestalotiopsis* on container-grown ericaceous crops. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 60(2), 135-142.
- Meena, P. D., Rani, A., Meena, M. C., Sharma, P., Kandpal, B., and Singh, D. (2015). Role of nutrients and lower leaf removal against *Alternaria* Blight in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Plant Pathology Journal* 14 (2): 92-96.
- Michereff, S. J. (2013). Manejo de la Antracnosis y Pudrición de Pedúnculo de Mango en el Contexto de las Nuevas Especies de Patógenos Asociados, con Énfasis en Epidemiología y Sensibilidad a los Fungicidas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 31. 41-42.
- Michigan State University. (2021). Management of blight and dieback in blueberries. Recuperado el 20 de abril del 2021 de: [http://msue.anr.msu.edu/topic/blueberries/pest\\_management/diseases](http://msue.anr.msu.edu/topic/blueberries/pest_management/diseases).
- Montagne, V., Capioux, H., Cannavo, P., Charpentier, S., Renaud, S., Liatard, E., Grosbellet, C. and Lebeau, T. (2016). Protective effect of organic substrates against soil-borne pathogens in soilless cucumber crops. *Scientia Horticulturae*, 206, 62-70.
- Morales, C. (2017). *Manual del manejo agronómico del arándano*. INIA. Chile.
- Morales, M. E. R., y Casanova, F. L. F. (2015). Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partícula y proporción. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 365-372.
- Moschini, R. C., Bombelli, E. C., Wright, E. R., López, M. V., Pérez, C. H. I., Carmona, J. D., Varsallona, B., Barberis, J. G., Fabrizio, M. C. y Rivera, M. C. (2014). Ajuste de modelos logísticos a la tasa de incremento de severidad de manchas foliares ocasionadas por *Alternaria tenuissima* en arándano. *Horticultura Argentina* 33(80): 27-35.
- Motta, V., D. F., Arias A., N. A., Munévar M., F., Aldana de la Torre, J. A., Rairán C., N., y Córdoba, H. (2004). Relación entre la nutrición del cultivo y la incidencia de

- la *pestalotiopsis* de la palma de aceite en las zonas Norte y Central de Colombia. *Revista Palmas*, 25(especial), 179-185.
- Munévar, M. F. (2004). Relación entre la nutrición y las enfermedades de las plantas. *Revista Palmas*, 25(especial), 171-178.
- Nallanchakravarthula, S., Mahmood, S., Alström, S., Finlay, R. D. (2014). Influence of soil type, cultivar and *Verticillium dahliae* on the structure of the root and rhizosphere soil fungal microbiome of strawberry. *PLoS One* 9, 1–10.
- Netto, M. S. B., Assuncao, I. P., Lima, G. S. A., Marques, M. W., Lima, W. G., Monteiro, J. H. A., Queiroz, B. V., Michereff, S. J., Phillips, A. J. L. and Camara, M. P. S. (2014). Species of *Lasiodiplodia* associated with papaya stem-end rot in Brazil. *Fungal Diversity* 67 (1): 127-14.
- Nohales, F., y Nohales, M. (2010). Arándano americano (*Vaccinium macrocarpon*) conclusiones de la investigación y de la evidencia clínica. *Revista de fitoterapia*, 5-21.
- Norris, R. F., Caswel, E. P. y Kogan, M. (2002). Conceptos en plagas integradas Administración. Prentice-Hall of India Private Limited, Nueva Delhi, India.
- Obregon, V. G., Ibañez, J. M., Lattar, T., Meneguzzi, N. G. (2018). Eficacia de fungicidas in vitro para el control de *Neopestalotiopsis clavispora* agente causal de la podredumbre de la corona en plantas de frutilla. 40° Congreso Argentino de Horticultura, Córdoba.
- Ojodeagua, A. J. L., Castellanos, J. Z. R., Muñoz, J. J. R., Alcántar, G. G., Tijerina L. C., Vargas, P. T. y Enríquez, S. R. (2008). Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4), 367-374.
- Onofre, R. B., Mertely, J. C., Aguiar, F. M., Timilsina, S., Harmon, P., Vallad, G. E., and Pérez, N. A. (2016). First report of target spot caused by *Corynespora cassiicola* on blueberry in North America. *Plant Disease*, 100(2), 528.
- Opelt, K., Chobot, V., Hadacek, F., Schönmann, S., Eberl, L., & Berg, G. (2007). Investigations of the structure and function of bacterial communities associated with Sphagnum mosses. *Environmental Microbiology*, 9, 2795-2809.
- Pastor, J. (2000). Utilización de sustratos en viveros. *Terra* 17(3): 231-235.
- Pastor, S. B. (2002). Sustratos: propiedades físicas, químicas y biológicas. *Revista de industria, distribución y socioeconómica hortícola: fruta, hortalizas, flores, plantas, arboles ornamentales y viveros*, 1, 70 – 79.
- Paynter, M. L., De Faveri, J., Herrington, M. E. (2014). Resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* and predicted breeding values in strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 139:178-184.
- Pérez, B., Murillo, F., Divo de Sesar, M. and Wright, E. (2007). Occurrence of *Fusarium solani* on Blueberry in Argentina. *American Phytopathological Society* 91(8), 1053.

- Pérez, P., Guerrero, J., Bensch, E. y Cona, L. (2011). *Neofusicoccum nonquaesitum* (Inderb., Trouillas, Bostock and Michalaidés) en arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta en la zona sur de Chile. Resumen Congreso Chileno de Fitopatología. Santiago. Chile.
- Pernezny, K., Datnoff, L. E., Rutherford, B., and Carroll, A. (2000). Relationship of temperature to growth, sporulation, and infection of tomato by the target spot fungus. In: *Report of Tomato Research*. Florida Tomato Committee, Maitland. 16-19 p.
- Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., van der Putten, W. H. (2013). Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Microbioly*, 11, 789–799.
- Phillips, A. J. L., Alves, A., Abdollahzadeh, J., Slippers, B., Wingfield, M. J., Groenewald, J., Zand, C. P. W. (2013). The Botryosphaeriaceae: genera and species known from culture. *Studies in Mycology* 76: 51-167.
- Phillips, D., Flor, N. C., and Harmon, P. F. (2019). Florida Blueberry Leaf Disease Guide. *EDIS*. 2019(3).
- Piotr, S., Rybus, Z. M., Małgorzata, J. (2014). Influence of nitrogen dose, type of nitrogen fertilizer and method of its application on plant health of maize hybrids (*zea mays* L). *Journal of polish agricultural universities* 17 (2).
- Pitt, J. I. y Hocking, A. D. (2009). La ecología del deterioro de los alimentos por hongos. En: *Hongos y deterioro de los alimentos*. Springer, Boston.
- Postma, J., Geraats, B. P. J., Pastoor, R., Van Elsas, J. D. (2005). Characterization of the microbial community involved in the suppression of *Pythium aphanidermatum* in cucumber grown on rockwool. *Phytopathology* 95:808 - 818.
- Postma, J., Stevens, L. H., Wieggers, G. L., Davelaar, E., Nijhuis, E. H. (2009). Biological control of *Pythium aphanidermatum* in cucumber with a combined application of *Lysobacter enzymogenes* strain T8 and chitosan. *Biological Control* 48:301–309.
- Prodorutti, D., Vanblarae, T., Grobbin, D., Pellegrini, A., Gessler, C., and Pertot, I. (2009). Genetic diversity of *Armillaria* spp. infecting highbush blueberry in northern Italy (Trentino region). *Plant Disease* 99:651-658.
- Qi, Y. X., Zhang, X., Pu, J. J., Liu, X. M., Lu, Y., Zhang, H., Zhang, H. Q., Lv, Y. C., and Xie, Y. X. (2011). Morphological and molecular analysis of genetic variability within isolates of *Corynespora cassicola* from different hosts. *European Journal of Plant Pathology*, 130(1), 83-95.
- Quintero C. M. F., González, M. C. A. y Guzmán, P. J. M. (2011). Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. En: Flórez, R., V. J. (Ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. pp. 79-108.
- Quintero, C. M. F., González, C. A. M. y Guzmán, J. M. P. (2011). Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. In: Flórez, R. V. J. (ed.). *Sustratos, Manejo*

- del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo. Universidad Nacional de Bogotá. Colombia. pp: 79-108.
- Ramos, F., Bautista, A., Sotelo, H. (2017). Relación de la temperatura y humedad relativa con el brote del hongo *Furarium oxysporum* f. sp. *Vanillae*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(3), 713-720.
- Raviv, M. (2013). Composts in growing media: what's new and what's next?. *Acta Horticulture*, 982, 39–47.
- Raviv, M., and Leith, J. H. (2008). Soilless culture: theory and practice. California. *Elsevier*, 608.
- Rebollar A., A., Boyzo, M. J., Silva, R. H. V., and Ramirez, G. (2013). Fungi and oomycete pathogens causing stem blight and root rots on blueberry in central Mexico. *Phytopathology* 113: S 119.
- Rebollar, A. A., Minnis, A. M., Dixon, L. J., Cattlebury, L. A., Ramírez, M. M. R., Silva, R. H. V. and Valdovinos, P. G. (2011). First report of leaf rust of blueberry caused by *Thekopsora minima* in Mexico. *Plant Disease*, 95:772
- Rebolledo, C. (2013). Establecimiento del arándano. En: Undurraga, P. y Vargas, S. *Manual de Arándano*. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Instituto de Investigaciones Agropecuarias – INIA, Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile. 120 pp.
- Reish, H. M. (2001). *Cultivos Hidropónicos*. Mundi-Prensa, Madrid, España. 88 pp.
- Retamales, J. & Hancock, J. (2012). *Blueberries*. US, Cambridge, Massachusetts, Centre for Agricultural Bioscience International, 323 pp.
- Retamales, J. y Hancock, J. (2011). *Crop production science in horticulture Blueberries*, Holly Beaumont, N° 21. Estados Unidos.
- Rios, J. A., Pinho, D. B., Moreira, W. R., Pereira, O. L., and Rodrigues, F. A. (2015). First report of *Colletotrichum karstii* causing anthracnose on blueberry leaves in Brazil. *Plant disease*, 99(1), 157-157.
- Rios, J. A., Pinho, D. B., Moreira, W. R., Pereira, O. L., and Rodrigues, F. A. (2015). First report of *Colletotrichum karstii* causing anthracnose on blueberry leaves in Brazil. *Plant disease*, 99(1), 157-157.
- Rivera, M. C., Wright, E. R., Pérez, B. A., González, R. P. y Pérez, J. A. (2009). Enfermedades del arándano. En: *Guía de enfermedades, plagas y malezas del arándano*. Buenos Aires, Orientación Gráfica. p. 1-68.
- Rodríguez, D. E., Salcedo P. E., Rodríguez, M. R., González, E. D. R., y Mena, M. 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.
- Rotem, J. (1994). The Alternaria: Biology, Epidemiology and Pathogenicity. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA. 326 pp.

- Rotem, J. (1994). *The genus Alternaria, Biology, Epidemiology and Pathogenicity*. The American Phytopathological Society. Minnesota, USA. 125 pp.
- Sadowsky, J. J., Miles, T. D., and Schilder, A. M. C. (2011). First report of stem blight caused by *Calonectria colhounii* (anamorph *Cylindrocladium colhounii*) on greenhouse-grown blueberries in the United States. *Plant Dis.* 95:1187.
- Santos, L., Silva, E. D. B., e Bragança, S. (2019). Comportamento diferencial de cultivares de mamoeiro, introduzidas do Estado do Espírito Santo, à infecção de *Corynespora cassiicola* (Berk. & Curt.) Wei e aos nutrientes, em condições edafoclimáticas do Amazonas. In Carvalho, P. O., Prestes, L. (Eds.) *Tecnologia de Produção em Fruticultura*, p. 111-128.
- Shcherbakov, A. V., Bragina, A. V., Kuzmina, E. Y., Berg, C., Muntyan, A. N., Makarova, N. M., Tikhonovich, I. A. (2013). Endophytic bacteria of *Sphagnum* mosses as promising objects of agricultural microbiology. *Microbiology*, 82, 306-315.
- Shrestha, S. K., Munk, L., Mathur, S. B. (2005). Role of weather on Alternaria Leaf Blight Disease and its effect on Yield and Yield Components of Mustard. *Nepal Agric. Res.* 6:62-72.
- Shuib, S. S., Déon, M., Mahyuddin, M. M., Izhar, A., Fumanal, B., Sunderasan, E., and Pujade-Renaud, V. (2015). Cassiicolin genes among *Corynespora cassiicola* isolates from rubber plantations in Malaysia. *J. Rubber Res*, 18, 6241-6246.
- SIAP. (2021). *Producción nacional de arándano*. Recuperado el 22 de febrero del 2021 de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Simmons, E. G. (2007). *Alternaria*. An identification manual. CBS Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, Holanda.
- Singh, V., Shekhar, M., Mehra, R., Bisht, S., Gogoi, R., and Kumar, A. (2017). Importance of soil health management in minimizing the soil borne diseases in *Zea mays*. *Maize Journal* 6(1,2): 1-8.
- Slippers, B., Boissin, E., Phillips, A. J. L., Groenewald, J. Z., Lombard, L., Wingfield, M. J., and Postma, A. (2013). Phylogenetic lineages in the Botryosphaerales: a systematic and evolutionary framework. *Studies in Mycology* 76:31 - 49.
- Sogai, M., Ishii, K., Umemoto, S., Watanabe, M., and Yoshikawa, N. (2009). First report of blueberry red ringspot disease caused by Blueberry red ringspot virus in Japan. *Journal of general plant pathology*, 75(2), 140-143.
- Spiers, J. M., Springer, S. J., Draper, A. D. and Gupton, C. L. (2002). 'Biloxi' Southern Highbush Blueberry, US. *Acta Horticulturae* 715:105 - 110.
- Summerell, B. A., Leslie, J. F., Liew, E., Laurence, M. H., Bullock, S., Petrovic, T., Bentley, A. R., Howard, C. G., Peterson, S. A. y Walsh, J. L. (2011). *Fusarium* species associated with plants in Australia. *Fungal Diversity*, 46:1-27.
- Terés, T. V. (2001). *Relaciones aire agua en sustratos de cultivo como base para el control de riego. Metodología de laboratorio y modelización*. Tesis doctoral,

- Universidad Politécnica de Madrid. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 483p.
- Thomas, C. E. (2004). Marchitez foliar por *Alternaria* (*Alternaria* Leaf Blight). En: Zitter, T. A., Hopkins, D. L. and Thomas, C. E. (eds.). *Plagas y enfermedades*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 88 pp.
- Thomma, B. P. H. J. (2003) *Alternaria* spp. From General Saprophyte to Specific Parasite. *Molecular Plant Pathology*, 4, 225-236.
- Tovar, J. M. (2010). Etiología, histopatología y control de la muerte descendente de injertos de Zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn) en Guerrero, México. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo Estado de México. México. 91 p.
- Turner, P. (2003). The role of nutrition in disease control. In: Fairhurst, T., Härdtner, R. (ed). *Oil Palm: Management for large and sustainable yields*. Potash and Phosphate Institute, p.181-190.
- Undurraga, P. y Vargas, S. (2013). *Manual del arándano*. Boletín INIA N° 263. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. 120 p.
- Undurraga, P. y Vargas, S. (2013). Manual del arándano. Boletín INIA N° 263. 120 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Urrestarazu, G. M. (2004). *Tratado de cultivo sin suelo*. Mundi-Prensa. México. 914p.
- Van der Gaag, D. J. and Wever, G. (2005). Conduciveness of different soilless growing media to *Pythium* root and crown rot of cucumber under near-commercial conditions *Eur. J. Plant Pathology* 112:31-41.
- Vargas, T. P., Zaragoza, C. J. R., Muñoz, J. J. R., Sánchez, P. G., Tijerina, L. C., López, R. M. R., Martínez, C. S. y Ojodeagua, J. L. A. (2008). Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura técnica en México*, 34(3), 323-331.
- Vázquez, I. G. (2002). Producción de tomate rojo en hidroponía bajo Invernadero. Manual de Manejo. AGRIBOT, Chapingo, México. 64 p.
- Vence, L. B., Valenzuela, O. R., Svartz, H. A., y Conti, M. E. (2013). Elección del sustrato y manejo del riego utilizando como herramienta las curvas de retención de agua. *Ciencia del suelo*, 31(2), 153-164.
- Vivas, A., Sánchez, L. E., Moncada, A., y Márquez, D. (2005). Cacao aspectos agronómicos para su cultivo. *Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología del Estado de Táchira*. Táchira, Venezuela, p. 38 - 39.
- Wang, F., Zhao, L., Li, G., Huang, J. and Hsiang, T. (2011). Identification and characterization of *Botryosphaeria* spp. causing gummosis of peach trees in Hubei Province, Central China. *Plant Disease* 95:1378-1384.
- Wang, J., Zhao, H., Yu, Y., Li, X., Liang, C., and Li, B. (2016). The pathogen causing *Lasiodiplodia* twig blight of blueberry. *Mycosystema*, 35(6), 657-665.

- Weinert, N., Piceno, Y., Ding, G. C., Meincke, R., Heuer, H., Berg, G., Schloter, M., Andersen, G., and Smalla, K. (2011). PhyloChip hybridization uncovered an enormous bacterial diversity in the rhizosphere of different potato cultivars: many common and few cultivar-dependent taxa. *FEMS Microbiol Ecol.* 75, 497–506.
- Wright, A. F., and Harmon, P. F. (2010). Identification of Species in the Botryosphaeriaceae Family Causing Stem Blight on Southern Highbush Blueberry in Florida. *Plant Disease*, 94(8), 966–971.
- Wright, E., Rivera, M., Campenella, E., Farinon, O., Berretta, M. and Pérez, B. (2014). *Fusarium branch* blight on highbush in Argentina. *African Journal of Biotechnology* 13 (51), 4628-4634.
- You, M. P., Lanoiselet, V., Wang, C. P., and 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), 423-423.
- You, M. P., Lanoiselet, V., Wang, C. P., and 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), 423-423.
- Yu, L., Impaprasert, R., Zhao, J. R., Xu, S. G., and Wu, X. (2013). Stem die-back of highbush blueberries caused by *Neofusicoccum parvum* in China. *New disease reports*, 27(3).
- Zhang, L. Q., Jiang, S., Meng, J. J., An, H. S., and Zhang, X. Y. (2019). First report of leaf spot caused by *Nigrospora oryzae* on blueberry in Shanghai, China. *Plant Disease*, 103(9), 2473.
- Zhang, L. Q., Jiang, S., Meng, J. J., An, H. S., and Zhang, X. Y. (2019). First report of leaf spot caused by *Nigrospora oryzae* on blueberry in Shanghai, China. *Plant disease*, 103(9), 2473.
- Zhang, Y. M., Maharachchikumbura, S. S. N., Tian, Q. (2013). *Pestalotiopsis* species on ornamental plants in Yunnan Province, China *Sydowia*. 59-74 pp.
- Zhao, J., Zhao, F., Jian, G., Ye, Y., Zhang, W., Li, J., and Qi, F. (2013). Intensified *Alternaria* spot disease under potassium deficiency conditions results in acceleration of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaf senescence. *Australian Journal of Crop Science* 7(2): 241-248.
- Zhao, L., Wang, Y., He, W., and Zhang, Y. (2019). Stem Blight of Blueberry Caused by *Lasiodiplodia vaccinii* sp. in China. *Plant disease*, 103(8), 2041-2050.

# CAPÍTULO II. RELACIÓN ENTRE ENFERMEDADES FOLIARES Y PROPIEDADES DE SUSTRATOS DEL ARÁNDANO EN JALISCO Y MICHOACÁN

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) se ha convertido en una excelente alternativa de producción, debido al alto valor nutricional y medicinal que aporta su fruto, en virtud de esto ha sido llamado "baya de oro" (Bonilla y Esquivel, 2018; Dong y Yang, 2019). Es categorizado como uno de los cinco principales alimentos saludables por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (Wang et al. 2017).

En México, la producción de arándano se ha visto afectada por enfermedades foliares causadas principalmente por hongos, que provocan la disminución de fotosíntesis, defoliación prematura, baja producción de yemas florales, que conllevan a una evidente pérdida de rendimiento y calidad (Schermer y Krewer, 2008). Entre las principales enfermedades foliares reportadas a nivel mundial se encuentra la mancha foliar causada por *Alternaria tenuissima* (You et al., 2014) y *Nigrospora oryzae* (Zhang et al., 2019), mancha redonda por *Pestalotiopsis photiniae* (Chen et al., 2010), antracnosis foliar por *Colletotrichum fioriniae* (Rios et al., 2015), roya de la hoja por *Thekopsora minima* (Rebollar-Alviter et al., 2011) y marchitez de puntas por *Pestalotiopsis clavispora* (Chen et al., 2016).

El uso de sustratos para la producción de arándano está cobrando cada vez más importancia en los estados de Jalisco y Michoacán. Han demostrado tener múltiples beneficios como incrementar la productividad y optimizar el uso de agua y fertilizantes (Quintero et al., 2011; Beltrano y Giménez, 2015). Además, se les atribuye propiedades supresoras de enfermedades asociadas a una microflora activa e inespecífica (Postma, 2009), así como también a las propiedades físicas y químicas específicas de cada tipo de sustrato.

En este contexto, resulta necesario conocer los hongos asociados a enfermedades foliares del arándano y analizar la posible relación con las propiedades físicas y químicas de los sustratos. Con la finalidad de generar información que mejore el

manejo integrado de enfermedades para lograr disminuir las pérdidas provocadas por esta problemática fitosanitaria en el cultivo arándano.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

El presente trabajo se realizó en Jalisco y Michoacán, estados donde se concentra la mayor producción de arándano en México. Se llevó a cabo en el ciclo productivo otoño – invierno del año 2020. Con enfoque en un sistema productivo convencional, donde se ha implementado el uso de sustratos para el cultivo de arándano.

### 2.2. Sitios de muestreo

El muestreo inició la última semana de octubre de 2020. Los municipios de Jalisco y Michoacán donde se realizó el muestreo se enlistan en el cuadro 1. Las muestras se tomaron con el método de cinco de oros (Cano et al., 2015), aplicado a cada parcela. Consistió en marcar cinco puntos, dos en cada extremo y uno en la parte media de la parcela, en cada punto se colectaron hojas con síntomas de manchas necróticas, también se colectaron plantas con síntomas de marchitez de puntas. Además, en cada punto se colectaron dos submuestras de sustrato, una de plantas sanas y otra de enfermas para posteriormente integrar una muestra compuesta en cada caso, con un volumen aproximado de 3 L, para analizar sus propiedades físicas y químicas. El material colectado se guardó en bolsas etiquetadas y se trasladó al laboratorio de fitopatología del Centro Regional Centro Occidente (CRUCO) de la Universidad Autónoma Chapingo, Morelia, Michoacán.

**Cuadro 1.** Municipios donde se realizó el muestreo.

Estado	Municipio
Jalisco	Ciudad Guzmán
	Tamazula
	Tala
	La Barca
Michoacán	Los reyes
	Tangamandapio

### **2.3. Aislamiento y purificación de patógenos**

Para obtener los patógenos en cultivo puro, a partir del tejido enfermo se eligieron las hojas más representativas del síntoma de mancha foliar y las raíces de plantas con amarillamiento y marchitamiento. Dentro de la campana de flujo laminar se colocaron en una solución de hipoclorito de sodio al 2% por 1 minuto para hojas y 1.40 minutos para raíz, posteriormente se enjuagaron 2 veces con agua destilada estéril y se dejaron secar sobre sanitas estériles. Con un bisturí se cortaron secciones de 0.5 cm<sup>2</sup> que contenían partes de tejido sano y tejido enfermo del sitio de avance de la infección. Se depositaron cinco secciones en medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA). Luego se etiquetaron con fecha, tipo de tejido y origen de la muestra. Fueron incubados de 3 a 5 días a temperatura ambiente en el Laboratorio. Los aislamientos se purificaron pasando una sección de micelio a una nueva caja Petri con medio de cultivo PDA.

### **2.4. Identificación morfológica y obtención de cultivo monospórico**

Del aislamiento purificado se hicieron preparaciones de micelio y esporas sobre portaobjetos para observar en el microscopio compuesto el tipo de micelio, color, septación y forma de esporas. Con base a las características morfológicas descritas e ilustradas en las claves de Barnett y Hunter (2006) se efectuó la identificación de hongos a nivel de género.

Después de identificar los hongos de interés, se procedió a obtener el cultivo monospórico de los hongos seleccionados. El procedimiento consistió en preparar una suspensión de conidios  $1 \times 10^3$  conidios mL<sup>-1</sup> y colocar 0.1 mL de suspensión en cada caja Petri con medio de cultivo agua agar (AA), seguido de incubar a temperatura ambiente del laboratorio por 12 a 24 horas. Mediante la observación en el microscopio compuesto, se localizó una colonia desarrollada individualmente de una espora y ésta se transfirió a una nueva caja con medio de cultivo PDA para obtener el cultivo monospórico de cada hongo.

Para la conservación de cultivos monospóricos se agregó papel filtro sobre el micelio del hongo para que colonizara el papel, cuando colonizo el papel se transfirieron a tubos etiquetados. También se guardaron trocitos de micelio en tubos con glicerol y fueron guardados en el congelador, para su uso futuro.

## **2.5. Caracterización de sustratos**

Los sustratos se analizaron en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). En los meses de enero y febrero del 2021. Las propiedades físicas que se determinaron fueron densidad aparente (DAP), capacidad de retención de humedad (CRH), espacio poroso total (EPT), capacidad de aireación (CA), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua difícilmente disponible (ADD) y agua total disponible (ATD). Las propiedades químicas fueron pH, conductividad eléctrica (CE) y concentración de nutrimentos.

## **2.6. Propiedades físicas**

### **a) Curva de retención de humedad**

En esta prueba se utilizó el método de Boodt et al. (1974), que consta de un equipo de embudos de succión, que tienen una placa de cerámica porosa y están conectados a una manguera. La succión se realizó a 10 cm, 50 cm y 100 cm de columna de agua que representan la capacidad contenedora, agua fácilmente disponible y agua de reserva respectivamente. Este proceso simula las condiciones en que se desarrollan las plantas en contenedor. Se colocó una muestra de sustrato hidratado en los embudos, posteriormente la manguera se niveló a 10 cm, cuando que la columna de agua no subió más, la manguera se niveló a 50 cm y por último a 100 cm. Dichas presiones se aplicaron cada 24 horas. Después de tomar la muestra de sustrato se obtuvo el peso húmedo, mientras que el peso seco se obtuvo después de secar la muestra en la estufa a 80°C por 72 horas y 30 minutos a 105°C antes de sacar la muestra. Con los datos obtenidos se procedió a calcular los puntos de la curva para identificar el agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua difícilmente disponible (ADD) y agua total disponible (ATD).

### **b) Densidad aparente**

Se determinó mediante la siguiente fórmula:  $D_a \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = P / V$

Donde:

Da: Densidad Aparente

P: Peso de sustrato seco

V: Volumen aparente del sustrato

### **c) Porosidad total o espacio poroso total**

Se utilizó la siguiente fórmula con base en peso y volumen:

$$PT (\%) = (V1 / V) (100)$$

$$PT (\%) = (P2-P1 / V) (100)$$

Donde:

V: Volumen del sustrato

V1: Volumen de saturación

P1: Peso de sustrato seco

P2: Peso del sustrato a saturación

### **d) Capacidad de aireación**

Se calculó con base en peso y volumen, aplicando las siguientes ecuaciones:

$$CA (\%) = (V2 / V) (100)$$

$$CA (\%) = (P2 - P3 / V) (100)$$

Donde:

CA: Capacidad de aireación

V: Volumen del sustrato

V2: Volumen drenado

P2: Peso del sustrato a saturación

P3: Peso del sustrato después de drenaje

### **e) Capacidad de retención de humedad**

El cálculo se realizó con las siguientes fórmulas:

$$CRH (\%) = PT - CA$$

$$CRH (\%) = (P3 - P1 / V) (100)$$

$$CRH (\%) = (V1 - V2 / V) (100)$$

Donde:

CA: Capacidad de aireación

PT: Porosidad total

P1: Peso del sustrato seco

P3: Peso del sustrato después de drenaje

V: Volumen del sustrato

V1: Volumen de saturación

V2: Volumen drenado

## **2.7. Propiedades químicas**

Estas propiedades se analizaron en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

Para iniciar este procedimiento se tomó una muestra de cada sustrato para saturarla con agua destilada y formar una pasta. Pasado 24 horas se colectó el agua drenada de cada pasta saturada (Extracto de saturación). El pH y la conductividad eléctrica (CE) se determinó directamente del extracto de saturación, mediante un potenciómetro E 1023 Digital Conductronic de mesa pH120 electrodo combinado.

El extracto de saturación también se utilizó para analizar las concentraciones de nutrimentos. El Nitrógeno (N) se determinó mediante el método de Destilación por arrastre de vapor (Microkjendahl). Para la concentración de Fósforo (P) se utilizó el método de colorimetría y se obtuvo la absorbancia a 520 nm en un espectrofotómetro modelo Genesys 10uv Scanning. La determinación del Potasio (K), calcio (Ca) y sodio (Na) se llevó a cabo con el método de flamometría y se midió la absorbancia a 520 nm con un Flamómetro modelo Sherwood. Por otra parte, el magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn) se analizaron mediante el método de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro de la marca GBC, modelo Avanta.

## **2.8. Análisis de datos**

Los datos obtenidos fueron examinados mediante un análisis de componentes principales con la finalidad de conocer las variables más contribuyentes a la variación de datos. Previamente se realizó una estandarización. El análisis de componentes principales se realizó con el paquete estadístico R (R core team) con la función `prcomp`. Se obtuvieron las contribuciones de cada variable a la varianza en cada uno de los componentes principales determinados. A partir de los eigen vectors, se elaboró una gráfica biplot entre los primeros dos componentes principales, posteriormente con el tercer componente. Lo anterior con el objetivo de conocer cómo las muestras se relacionan entre sí dentro de cada componente. El propósito general del método de componentes principales es concentrar la información contenida en una serie de variables originales en un número más pequeño de dimensiones complejas, denominadas factores o componentes, con una mínima pérdida de información (Abdi

y Williams, 2010). Posteriormente con las variables significativas se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y finalmente la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ).

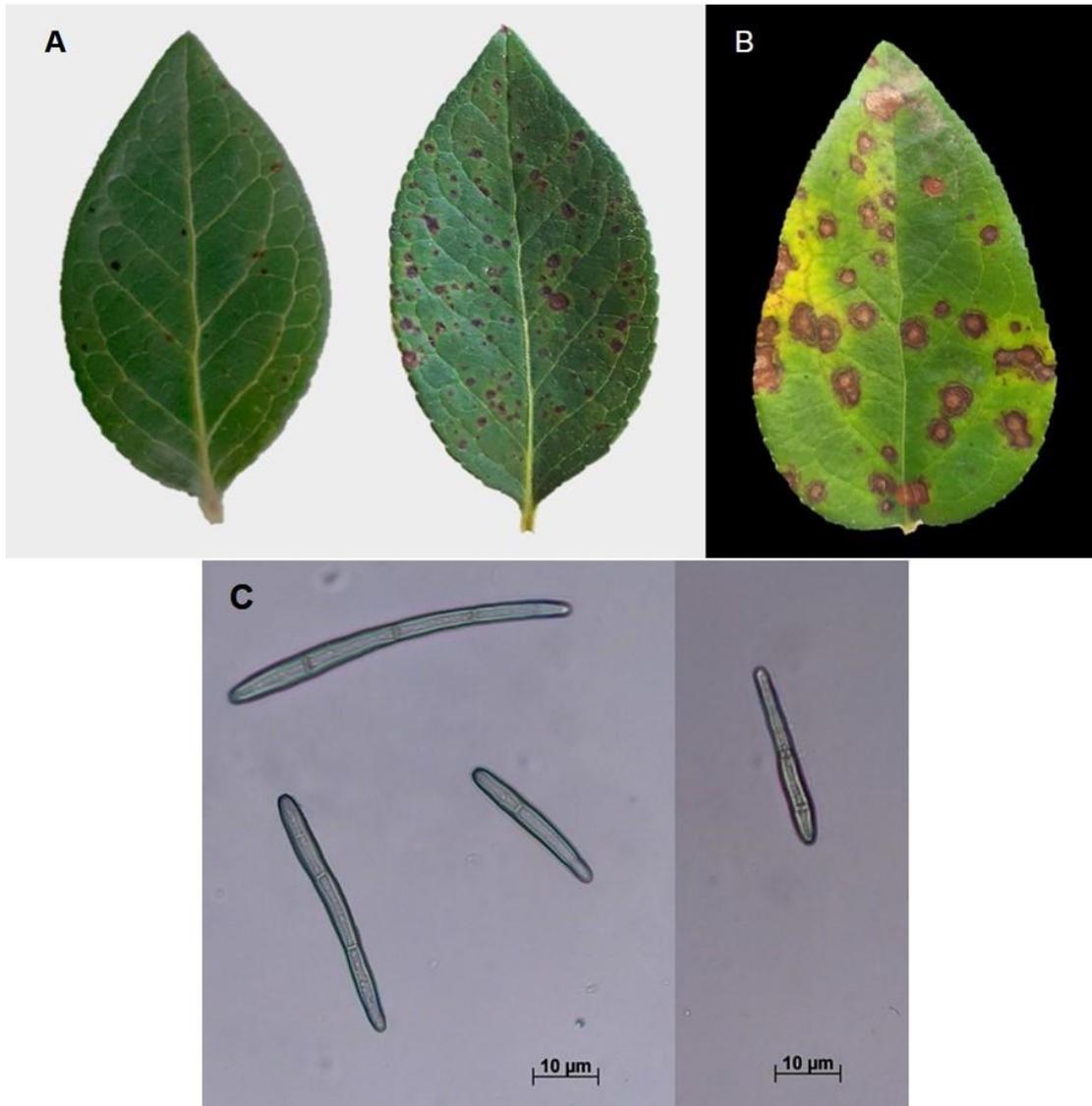
### 3. RESULTADOS

En total, se examinaron 19 plantaciones comerciales de arándano pertenecientes a 12 ranchos distribuidos en los estados Jalisco y Michoacán.

#### 3.1. Hongos asociados a manchas foliares

Los géneros predominantes obtenidos de manchas foliares fueron: *Corynespora* sp., *Alternaria* sp., y *Pestalotiopsis* sp. A nivel mundial han sido reportados como patógenos del cultivo de arándano.

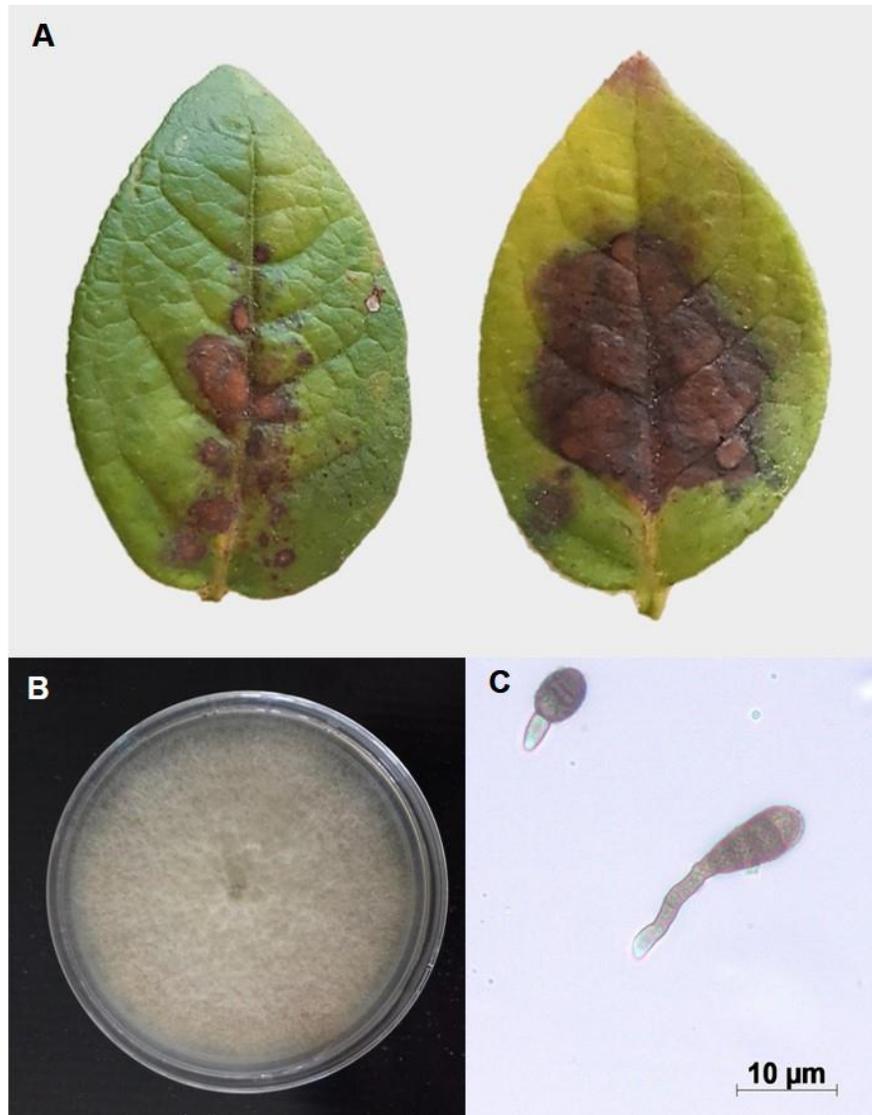
Los síntomas de *Corynespora* sp., observados en campo consistieron en manchas necróticas circulares a irregulares de color marrón, con centros claros y márgenes oscuros. Inicialmente aparecían como pequeños puntos rojos, posteriormente se convertían en manchas severas y se fusionaban hasta provocar una defoliación prematura. Las colonias presentaron crecimiento micelial algodonoso de color gris. La forma de los conidios fue variable desde alargados, obclavados a cilíndricos, de color gris claro a marrón oscuro (Fig. 2). Las características descritas anteriormente coinciden con la descripción de Onofre et al. (2016), quienes reportaron por primera vez a *Corynespora cassicola* como patógeno de arándano en América del Norte. Los conidios (n=100) tenían un promedio de 44.83 (17.54 a 69.76) x 8.39 (5.66 a 15.58)  $\mu\text{m}$ . Los muestreos realizados en las plantaciones comerciales evidenciaron una incidencia entre 36.8 a 100 % con una media de 90.53 %. La severidad osciló entre 2.40 a 46.10 con una media de 15.52 %.



**Figura 2.** A) Síntomas iniciales de *Corynespora* sp., en hoja de arándano. B) Síntomas severos. C) Morfología de conidios.

Los síntomas de *Alternaria* sp., en las hojas incluían pequeñas manchas marrones de forma circular a irregular, con bordes distintivos de color rojo oscuro y definidos. Los rasgos morfológicos del cultivo monosporico del hongo fueron los siguientes: colonia color verde oliva oscuro con micelio algodonoso, conidios multicelulares con coloración marrón, ovoides y obclavados, con septas longitudinales y transversales (Fig. 3). Los aislamientos mostraron similitudes morfológicas con *Alternaria tenuissima* como se describe en los informes de Li et al. (2011) y You et al. (2014). Los conidios (n=100)

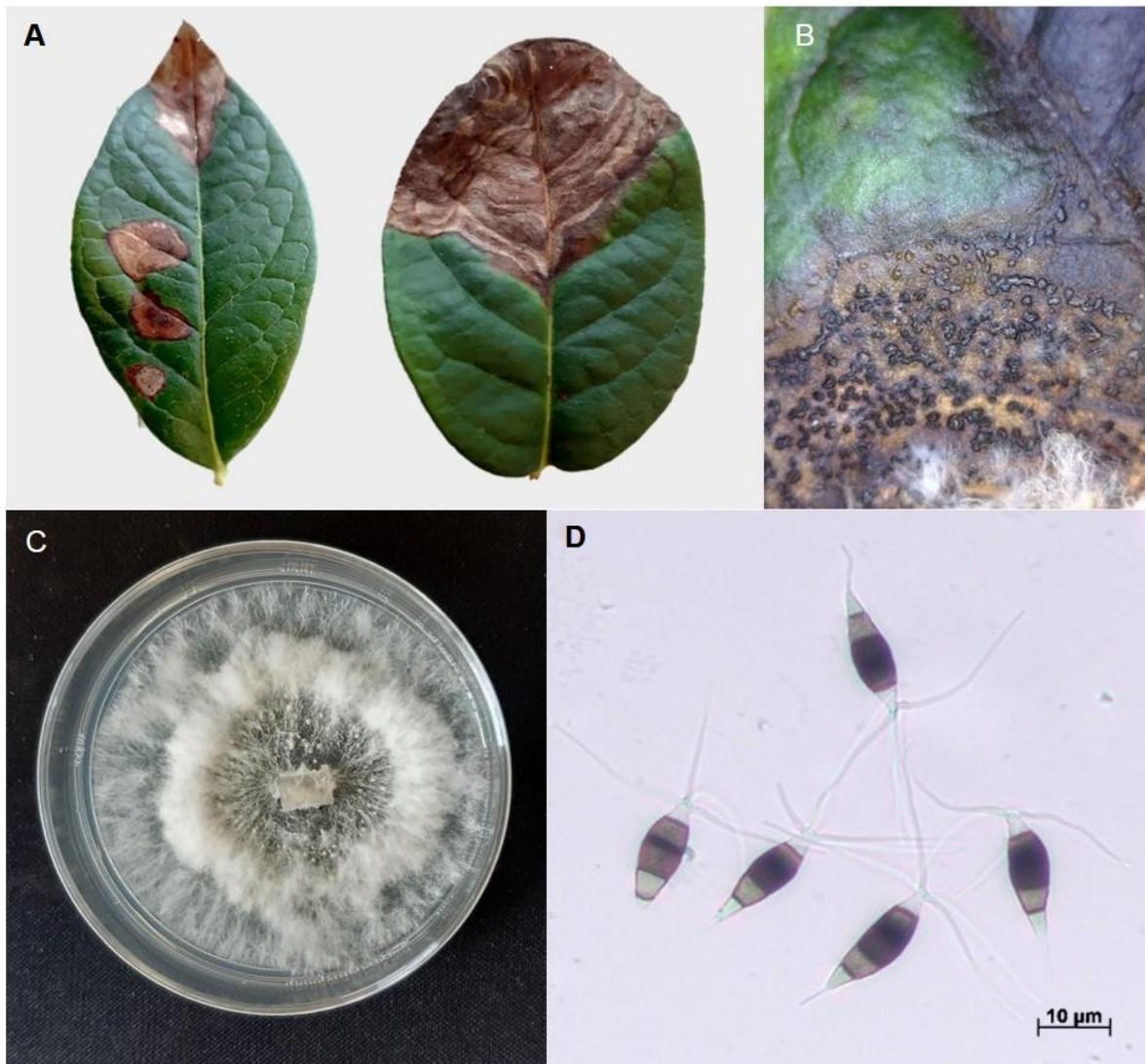
tenían un promedio de 21.96 (14.94 a 29.13) x 11.15 (10.347a 11.64)  $\mu\text{m}$ . La incidencia de este patógeno fue de 38.8 a 95.6 % con una media de 65.9 %. En cambio, la severidad fluctuó entre 10.16 a 27.84 % con una media de 19.77 %.



**Figura 3.** A) Síntomas de *Alternaria* sp., en hoja de arándano. B) Crecimiento micelial. C) Morfología conidial.

Los síntomas observados de *Pestalotiosis* sp., fueron manchas circulares, elípticas a irregulares de color marrón, con círculos concéntricos. La colonia del hongo presentó una coloración blanca con acérvulos negros y crecimiento en círculos concéntricos. Mediante la inspección microscópica se observaron conidios característicos de *Pestalotiosis* sp., conidios de cinco células con tres células oscuras centrales y dos

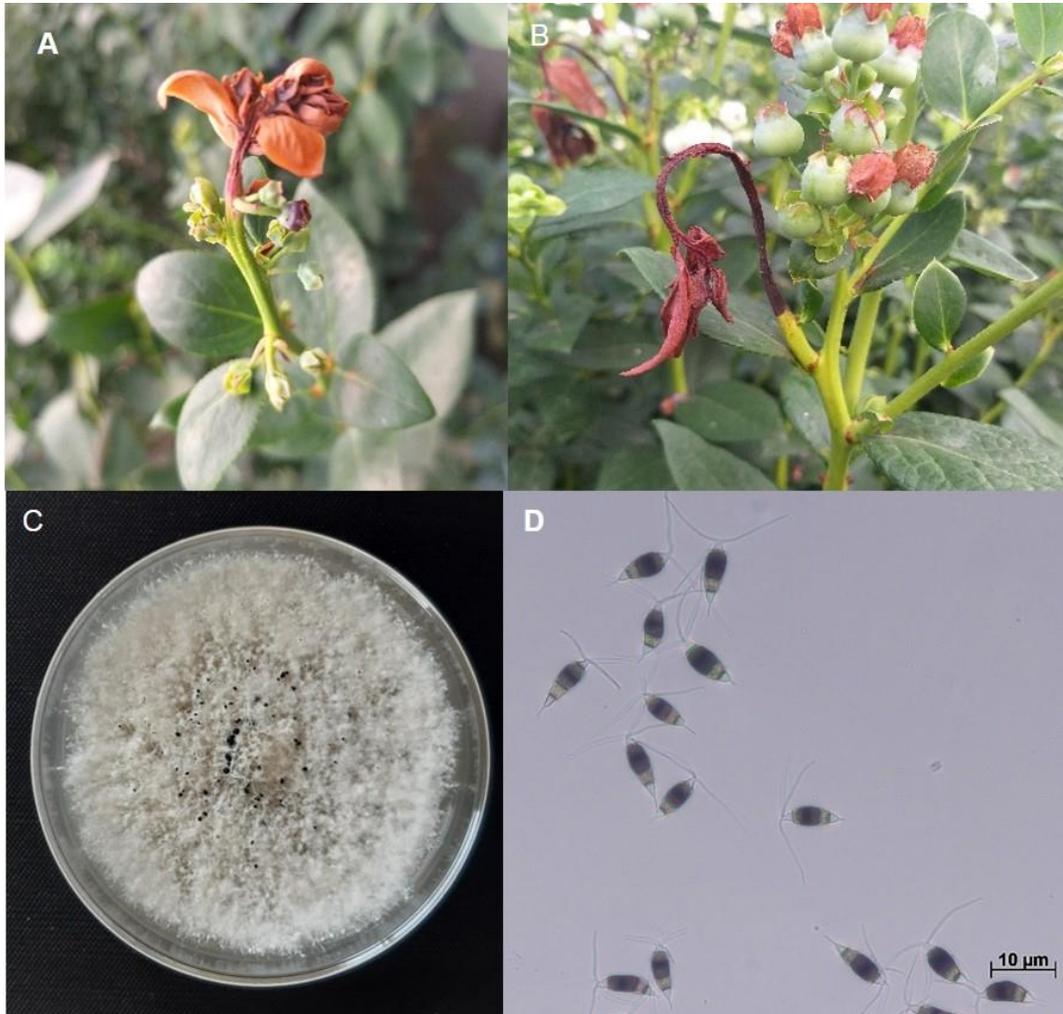
hialinas, de dos a cuatro apéndices apicales y un apéndice basal (Fig. 4). El patógeno se identificó mediante las características descritas en el estudio realizado por Chen et al. (2010). Los conidios ( $n=100$ ) tenían un promedio de  $29.70$  ( $22.55$  a  $35.13$ )  $\times$   $8.55$  ( $6.25$  a  $11.78$ )  $\mu\text{m}$ . Con un apéndice basal de  $7.86$  ( $5.97$  a  $9.30$ )  $\mu\text{m}$  y de tres a cuatro apéndices apicales de  $26.48$  ( $10.44$  a  $49.27$ )  $\mu\text{m}$ . La incidencia de *Pestalotiopsis* sp. osciló entre  $48$  a  $89.6$  % con una media de  $64.1$  %. Mientras tanto la severidad fue de  $2.20$  a  $12.12$  % con una media de  $7.23$  %.



**Figura 4.** A) Síntomas de *Pestalotiopsis* sp., en hoja de arándano. B) Acérvulos en hoja. C) Crecimiento micelial. D) Morfología de conidios.

### 3.2. Hongo asociado a marchitamiento de puntas

De las puntas colectadas con síntomas de necrosis se aisló *Pestalotiopsis* sp. como el agente asociado al marchitamiento de puntas. De acuerdo con las características reportadas por Chen et al. (2016). Se observó una incidencia de 0.83 a 47.59 % con una media de 19.65 %. La severidad fluctuó entre 4.3 a 18 % con una media de 11.5 %.



**Figura 5.** A) Síntomas iniciales de marchitamiento de punta. B) Curvatura de puntas. C) Crecimiento micelial. D) Morfología de conidios.

Los síntomas consistieron en necrosis del ápice con una distintiva curvatura de las ramas y coloración rojiza. El color de la colonia fue blanco de micelio denso, con crecimiento circular y acérvulos negros fueron fusiformes a elipsoides de cinco células, células apicales y basales hialinas, mientras que las centrales fueron de color marrón,

con un apéndice basal y de dos a cuatro apéndices apicales (Fig. 5). Los conidios (n=100) tenían un promedio de 27.40 (21.17 a 33.80) x 7.75 (5.8 a 9.88)  $\mu\text{m}$ . Con un apéndice basal de 5.92 (4.58 a 7.40)  $\mu\text{m}$  y de tres a cuatro apéndices apicales de 30.53 (10.41 a 44.7)  $\mu\text{m}$ .

### **3.5. Análisis de variables por el método de componentes principales**

Mediante el análisis de componentes principales se observó que el primer componente (PC1), presentó el 27% de la varianza explicada representado por las variables sodio, CE, DAP, cobre, CA, fosforo, magnesio, calcio y potasio. El segundo (PC2) explicó el 14% de la varianza, en gran parte explicada por el contenido de nitrógeno amonio, nitrato, EPT, ADD, y el tercer componente (PC3) evidencio el 12%, estuvo constituido por la incidencia y severidad, CRH, ADD y manganeso, hierro y zinc.

En la figura 6 se representan los dos primeros componentes, indicando las variables con los valores más altos. Conjuntamente explican el 41% de la varianza total, cuyo valor asciende al 53% contemplando los tres primeros componentes.

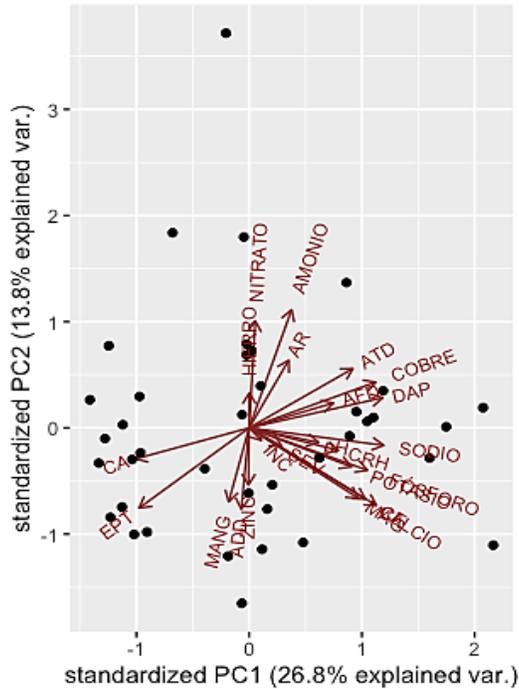
Es posible notar que los valores también se agruparon de acuerdo al tipo de sustrato indicando 4 grupos claros, el primero representado por los valores más altos de ATD, cobre, DAP, en PT-FCC-PER-TEZ, el segundo representado por valores altos de CA, EPT, MANG, ADD, ZINC en FIB-CC; un tercero representado por PT-FCC-PER-TEZN, en el cual se asoció principalmente valores altos de fosforo, potasio, AFD, sodio. Finalmente, el 4 grupo lo conformó PET-FIBCC-PER, al cual se asociaron valores mayores de nitrato, amonio y hierro (Fig. 7A).

En el cuadro 2 se resumen las correlaciones de los componentes principales con las variables.

Al incluir los componentes 3 y 4, se evidencia una tendencia a mayores valores de severidad e incidencia de enfermedades foliares en los sustratos a base fibra de coco (FIB-CC), los cuales también tendieron hacia valores mayores de zinc, manganeso, hierro, agua difícilmente disponible (ADD) y capacidad de retención de humedad (CRH) (Fig. 7B). Esta información evidencia mayor acumulación de micronutrientes y retención de humedad en los sustratos.

**Cuadro 2.** Correlación de variables mediante componentes principales.

Variable	Código	Componente		
		PC1	PC2	PC3
Incidencia	INC	0.072	-0.078	<b>0.524</b>
Severidad	SEV	0.191	-0.114	<b>0.599</b>
Densidad aparente	DAP	<b>0.785</b>	0.188	-0.096
Capacidad de retención de humedad	CRH	0.524	-0.140	<b>-0.515</b>
Espacio poroso total	EPT	<b>-0.646</b>	<b>-0.500</b>	0.089
Capacidad de aireación	CA	<b>-0.668</b>	-0.194	0.365
Agua difícilmente disponible	AFD	0.495	0.155	-0.039
Agua de reserva	AR	0.232	0.421	0.196
Agua difícilmente disponible	ADD	-0.046	<b>-0.506</b>	-0.491
Agua total disponible	ATD	<b>0.609</b>	0.370	0.033
Amonio	AMONIO	0.249	<b>0.736</b>	0.220
Nitrato	NITRATO	0.036	<b>0.667</b>	0.332
Fósforo	FÓSFORO	<b>0.694</b>	-0.264	0.088
Potasio	POTASIO	<b>0.601</b>	-0.243	0.027
Calcio	CALCIO	<b>0.683</b>	-0.444	0.313
Sodio	SODIO	<b>0.790</b>	-0.109	-0.018
Cobre	COBRE	<b>0.743</b>	0.285	0.138
Manganeso	MANG	-0.120	-0.460	<b>0.590</b>
Hierro	HIERRO	0.001	0.218	<b>0.623</b>
Zinc	ZINC	-0.004	-0.356	<b>0.534</b>
Magnesio	MAG	<b>0.641</b>	-0.438	0.129
Conductividad eléctrica	CE	<b>0.748</b>	-0.484	0.148
Potencial hidrogeno	pH	0.408	-0.091	-0.349



**Figura 6.** Grafica biplot de los componentes principales. La longitud de cada vector propio es proporcional a la varianza de los datos. El ángulo entre los vectores propios representa las correlaciones entre las diferentes variables.

Cuando se considera el estatus de la planta (sana o enferma) de manera general, no hubo una clara separación de grupos en estos componentes PC1 y PC2. Sin embargo, los valores de calcio, fósforo, potasio, sodio, cobre, CRH, ATD y DAP tendieron a ser mayores en los enfermos que en los sanos.

Al analizar, los componentes 3 y 4 para el estatus de la planta (sana o enferma), en el componente 3 quedó más claro que los valores de manganeso, zinc, hierro, CRH, incidencia y severidad fueron mayores en las plantas enfermas que en las sanas (Fig. 7D). Esto indica que en las plantas enfermas tienden a menor absorción de micronutrientes y mayor retención de humedad en los sustratos.

Con relación a las variedades, el análisis definió 3 grupos, uno representado por la variedad atlas, Vianca, Regina, Jupiter y Arana con valores más altos en las variables de potasio, fosforo, amonio y nitrato, otro grupo en el cual biloxy obtuvo valores más altos de CA, EPT, ADD, zinc, manganeso (Fig. 7C). Esta situación señala que en los sustratos de las variedades atlas, vianca, regina, jupiter y arana tienden a mayor acumulación de macronutrientes en los sustratos.



### **3.6. Relación entre la condición de la planta y las propiedades físicas**

El análisis estadístico de la densidad aparente (DAP), espacio poroso total (EPT), capacidad de aireación (CA), capacidad de retención de humedad (CRH), agua total disponible (ATD), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua difícilmente disponible (ADD) no presentaron diferencias significativas en función al estatus de la planta.

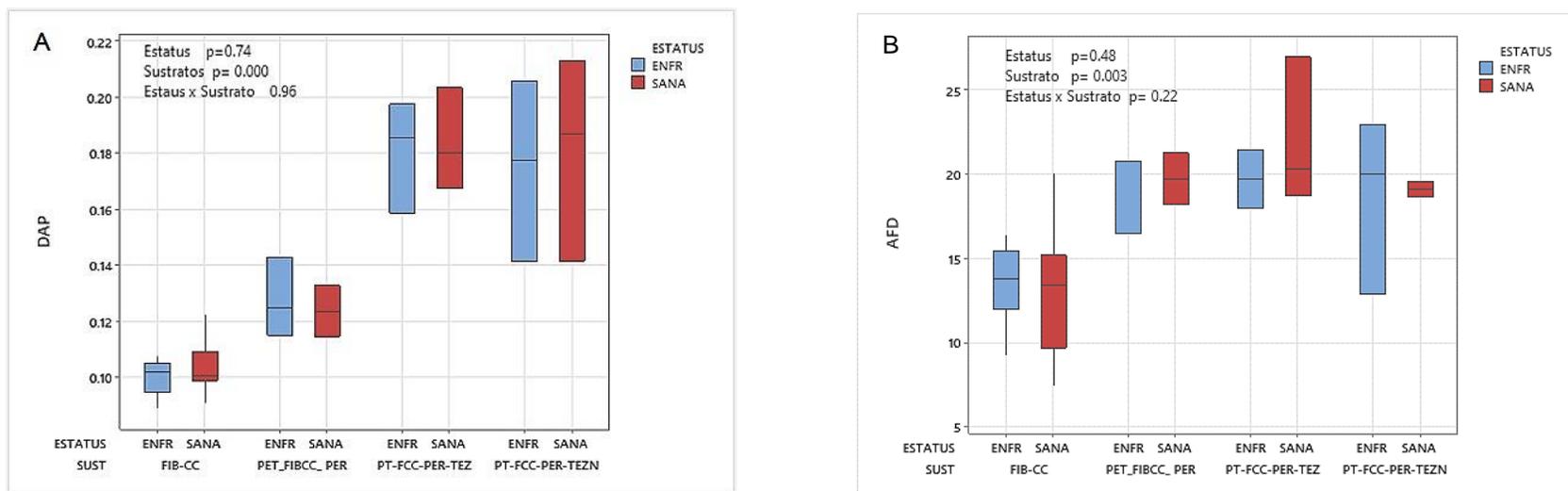
Pese a que no existieron diferencias significativas, se logró observar que los sustratos extraídos de plantas enfermas tendieron a mayor DAP (Fig. 8A). Las diferencias significativas se observaron al realizar la comparación entre el tipo de sustrato y el valor de DAP, donde el sustrato a base de peat moss + fibra de coco + perlita + 10 % de tezontle (PT-FCC-PER-TEZ) tendió a valores más altos, en contraste del sustrato fibra de coco (FIB-CC) tendió a valores más bajos.

Los sustratos peat moss + fibra de coco + perlita + 10 % de tezontle (PT-FCC-PER-TEZ) y peat moss + fibra de coco + perlita + 30 % de tezontle (PT-FCC-PER-TEZN) tendieron a valores más altos de AFD, seguido de peat moss + fibra de coco + perlita (PT-FCC-PER), mientras que el sustrato fibra de coco (FIB-CC) evidenció los valores más bajos (Fig. 8B).

### **3.7. Relación entre la condición de la planta y los macronutrientes**

Se obtuvieron diferencias significativas en la variable calcio, donde las plantas enfermas tienden a valores más altos en comparación con las plantas sanas (Cuadro 3). De igual forma se observó que el sustrato PT-FCC-PER-TEZ tiende a mayor contenido de calcio, seguido del sustrato PT-FCC-PER-TEZN, a diferencia de los sustratos FIB-CC y PT-FCC-PER que presentaron los valores más bajos (Fig. 9A). En el mapa de calor se observa claramente que las plantas enfermas específicamente del sustrato PT-FCC-PER-TEZ tienden a valores más altos de calcio, en contraste de las plantas sanas (Fig. 10). Estas evidencias indican una mayor acumulación de calcio en los sustratos extraídos de sustratos con plantas enfermas.

El resto de macronutrientes no presentaron diferencias significativas en función al estatus de la planta.

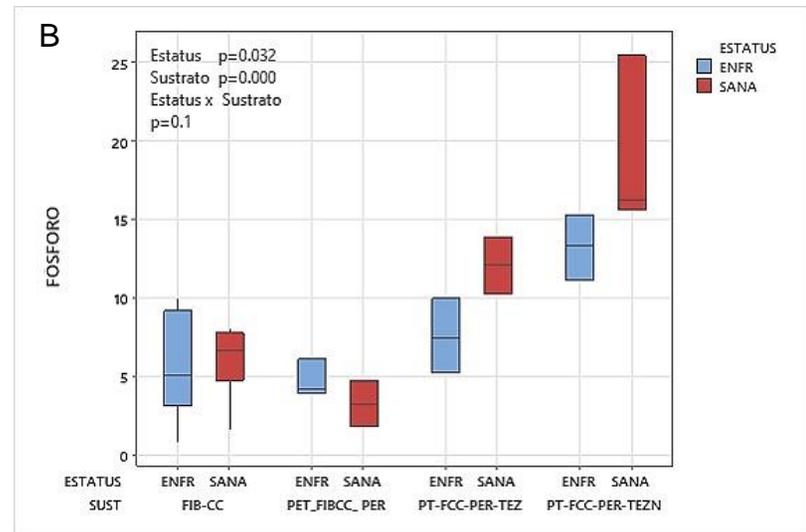
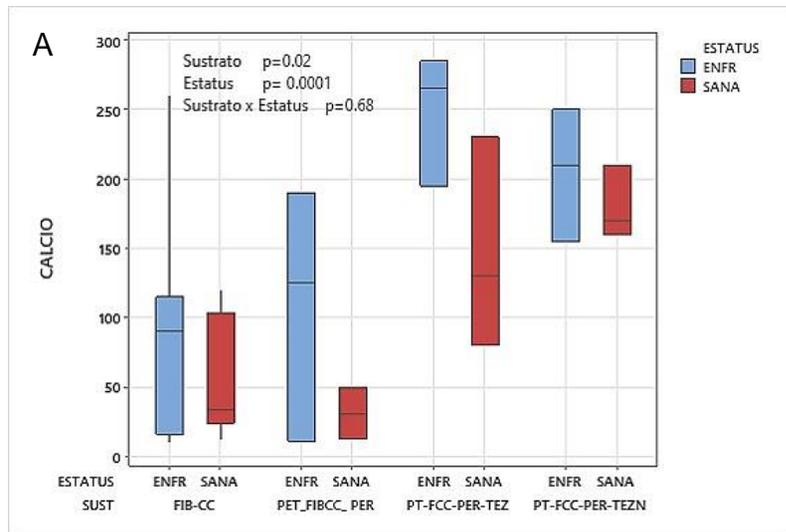


**Figura 8.** Distribución de valores de las propiedades físicas en relación al estatus de la planta y tipo de sustrato. A) Densidad aparente (DAP) en  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . B) Agua fácilmente disponible (AFD) en %.

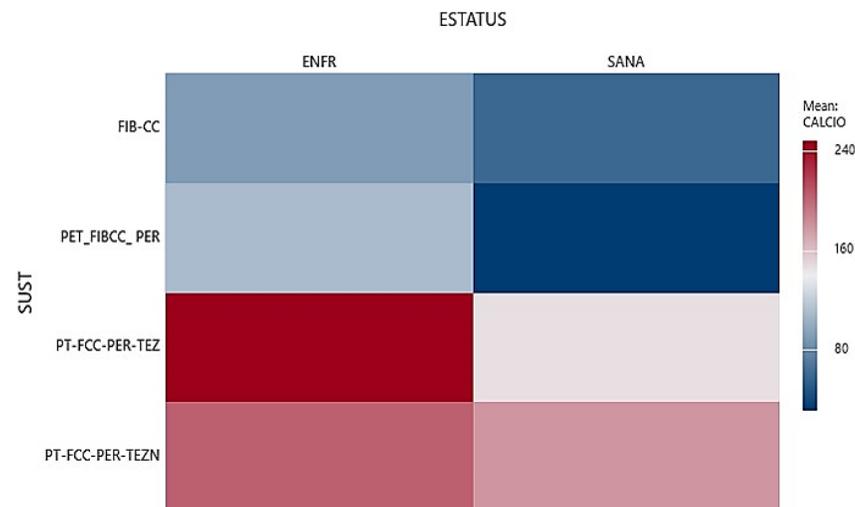
**Cuadro 3.** Agrupación de medias mediante el método Tukey (95 % de confianza).

Sustrato	Calcio
PT-FCC-PER-TEZ	197.5 A
PT-FCC-PER-TEZN	192.5 A
FIB-CC	73.96 B
PET_FIBCC_PER	69.96 B
<b>Estatus</b>	
Enferma	162.93 A
Sana	104.10 B

\* Letras distintas indican diferencia significativa.



**Figura 9.** Distribución de valores (mg·L<sup>-1</sup>) de los macronutrientes en relación al estatus de la planta y tipo de sustrato. A) Calcio. B) Fósforo.



**Figura 10.** Mapa de calor de la concentración de calcio en relación al tipo de sustrato y estatus de la planta (sana o enferma).

En la variable fósforo se observó que las plantas sanas en los sustratos PT-FCC-PER-TEZ, PT-FCC-PER-TEZN y FIB-CC tendieron a valores más altos que en las plantas enfermas. Por el contrario, las plantas enfermas del sustrato PT-FCC-PER tendieron a valores más altos que las sanas. Además, los datos evidenciaron que el sustrato PT-FCC-PER-TEZN tendió a niveles más altos de fósforo (Fig. 9B).

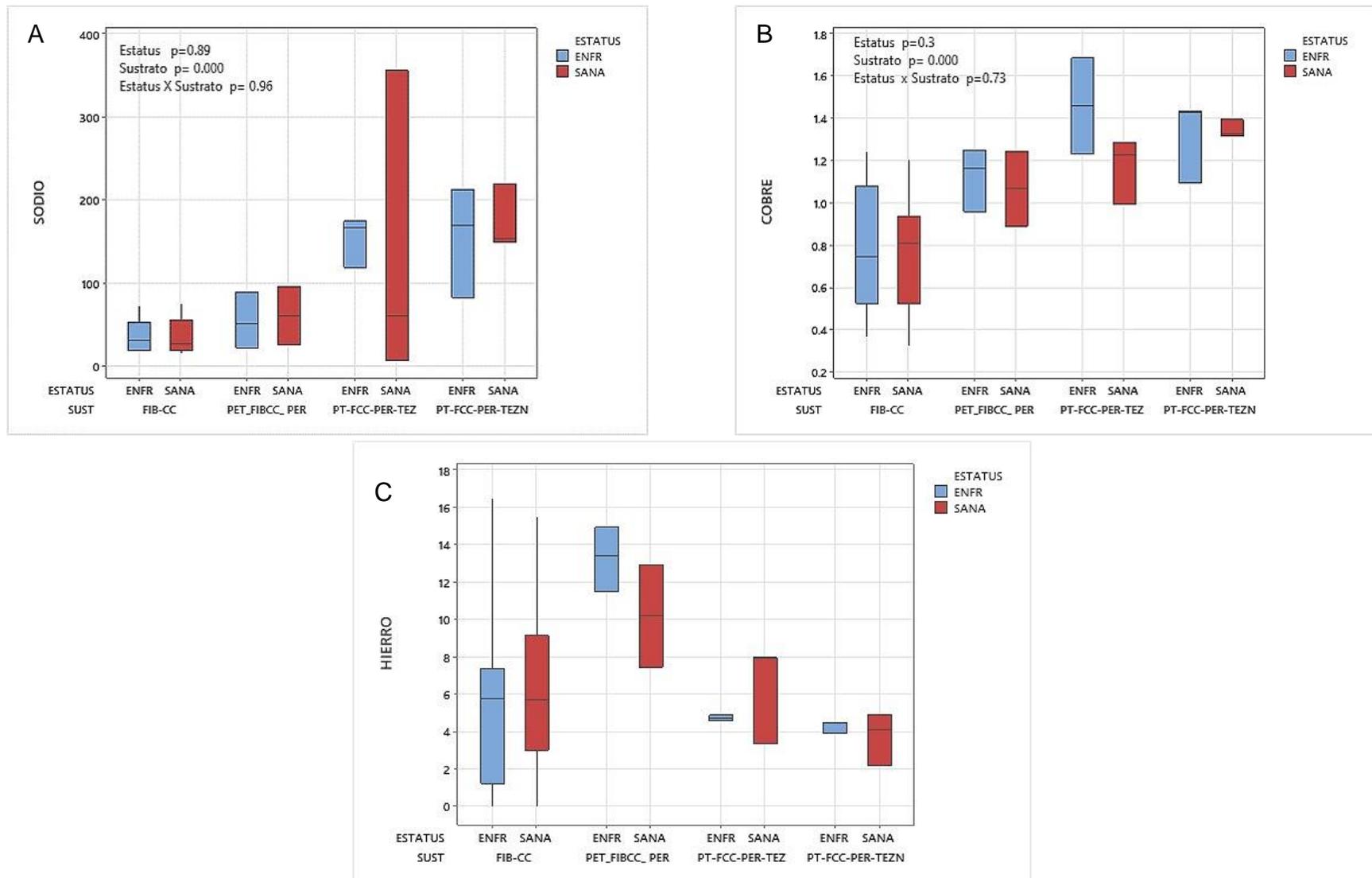
### **3.8. Relación entre la condición de la planta y los micronutrientes**

Los resultados muestran que no existieron diferencias significativas entre el estatus de la planta y la concentración de micronutrientes. Es decir, que la concentración de micronutrientes en los sustratos no difiere entre plantas enfermas y sanas.

No obstante, se pudo observar que las plantas enfermas de los sustratos FIB-CC, PT-FCC-PER-TEZ y PT-FCC-PER-TEZN tendieron a valores más altos de sodio en comparación con las plantas sanas. Mientras que las plantas sanas del sustrato PT-FCC-PER presentaron los valores más altos. Por otra parte, los resultados indicaron que existen diferencias significativas entre los sustratos y la concentración de Sodio, donde el sustrato PT-FCC-PER-TEZN tendió a valores más altos (Fig. 11A). En general, los sustratos con base de tezontle tendieron a acumular más Sodio.

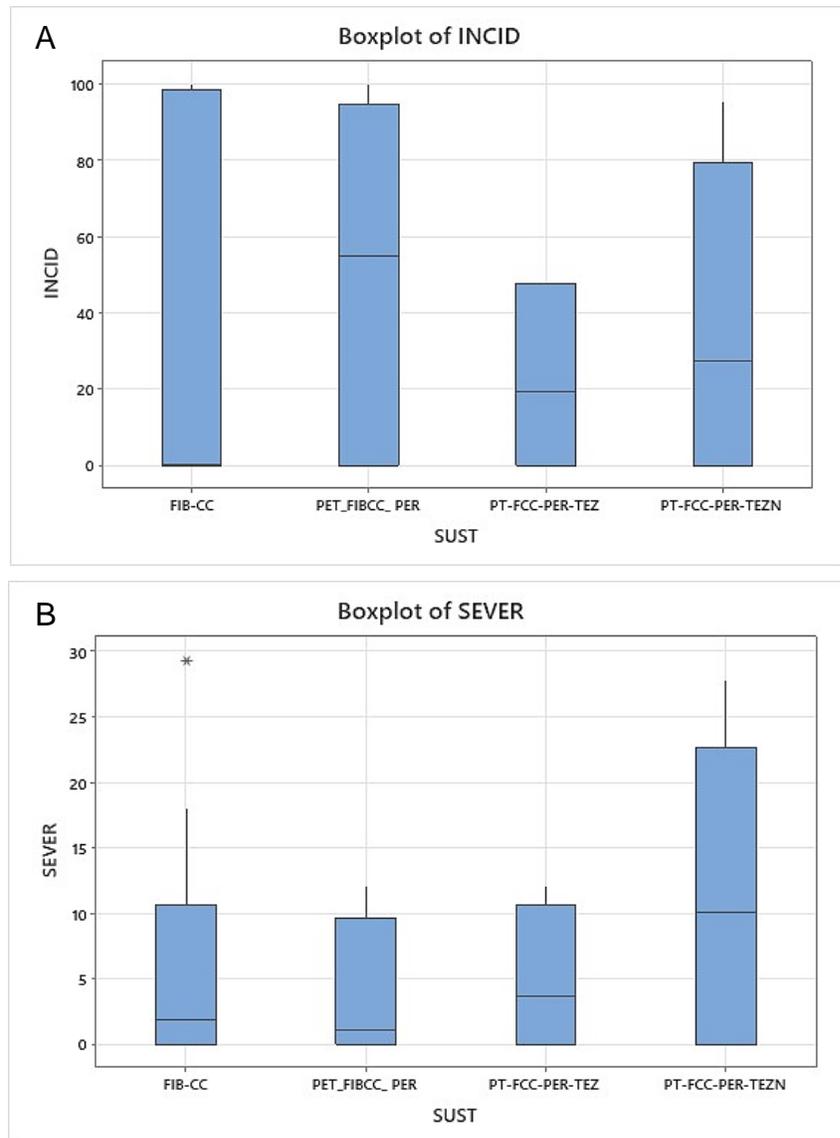
De igual manera en la variable cobre se observó que las plantas enfermas de los sustratos PT-FCC-PER, PT-FCC-PER-TEZ y PT-FCC-PER-TEZN tendieron a valores más altos. En cambio, al comparar el tipo de sustrato con la concentración de cobre si se observaron diferencias, donde los valores fueron más altos en PT-FCC-PER-TEZN, en contraste, FIB-CC presentó los valores más bajos (Fig. 11B).

Así mismo las plantas enfermas de los sustratos FIB-CC, PT-FCC-PER y PT-FCC-PER-TEZN tendieron a valores altos de hierro en comparación con las sanas. Situación inversa con el sustrato PT-FCC-PER-TEZ. El análisis evidenció diferencias significativas entre los sustratos y la concentración de hierro, donde PT-FCC-PER tendió a valores más altos (Fig. 11C).



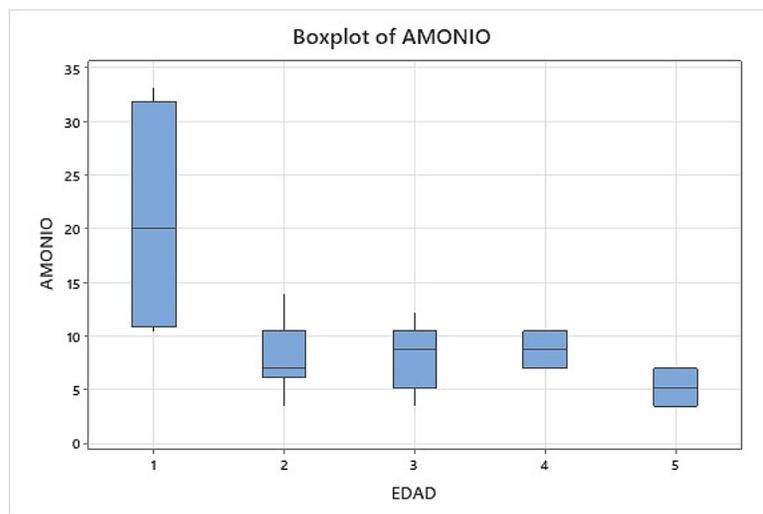
**Figura 11.** Distribución de valores ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) de los micronutrientes en relación al estatus de la planta y tipo de sustrato. A) Sodio, B) Cobre, C) Hierro.

Al analizar la incidencia y severidad en base al tipo de sustrato no se observaron diferencias significativas. Pero se logró observar que la incidencia tendió a ser mayor en el sustrato PET-FBCC-PER, el cual también tendió a valores altos de hierro y fósforo. Mientras que la severidad tendió a ser mayor en el sustrato PET-FBCC-PER-TENZ, asimismo evidenció valores altos de fósforo, cobre y sodio (Fig. 12).



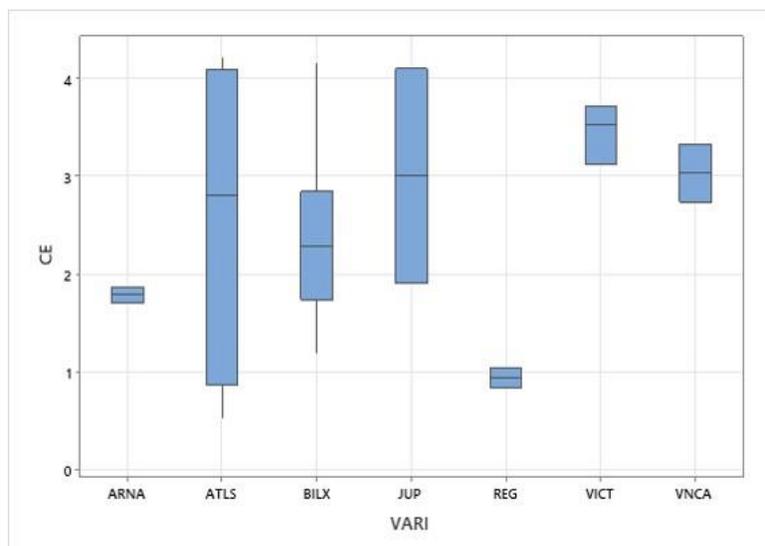
**Figura 12.** A) Relación entre incidencia de enfermedades foliares y tipos de sustratos. B) Relación entre severidad y tipo de sustrato.

Referente a la variable amonio se encontraron diferencias significativas al analizar la concentración en base a la edad de la planta, de esta manera, mediante la prueba de Tukey se determinaron dos grupos, en los cuales se observó que las plantas de 1 año tendieron a valores más altos de amonio y el resto de las plantas presentaron valores estadísticamente similares (Fig. 13).



**Figura 13.** Distribución de valores ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) de amonio en relación a la edad de la planta.

Finalmente, al analizar la conductividad eléctrica (CE) en base a las variedades de arándano se observaron diferencias significativas, donde las variedades atlas y jupiter tendieron a valores más altos de CE (Fig. 14). Dichas variedades coincidieron con el sustrato PET-FBCC-PER-TEZN el cual presento mayor contenido de sodio.



**Figura 14.** Distribución de valores (mS) de CE en relación a las variedades de las plantas.

## 4. DISCUSIÓN

El agente causal de la mancha anillada en arándano se identificó como *Corynespora* sp. Recientemente se reportó a *C. cassicola* como la especie involucrada en esta problemática fitosanitaria del arándano (Li et al., 2011; Onofre et al., 2016). Este hongo ha sido reconocido como patógeno polífago que causa manchas necróticas en hojas y defoliación prematura en distintos cultivos (MacKenzie et al., 2018). El estudio de campo indicó que la enfermedad se desarrolla en las hojas del estrato medio inferior de la planta, información que coincide con lo reportado por Schlub et al. (2007). Además, la infección de este patógeno solo se observó en la variedad Biloxi® lo que evidencia mayor susceptibilidad de esta variedad hacia *Corynespora* sp., al respecto Santos et al. (2019), confirman que el factor genético está fuertemente relacionado. Por otra parte, *C. cassicola* está catalogada como de alto riesgo a desarrollar resistencia a fungicidas (FRAC, 2014). Este es un punto clave para poder implementar estrategias que limiten la resistencia en los estados de Jalisco y Michoacán.

Mientras tanto de las manchas foliares se aisló *Alternaria* sp. Se ha informado que la especie *Alternaria tenuissima* es el principal agente causal de la mancha foliar y pudrición de fruto de arándano en todo el mundo (Greco et al., 2012; You et al., 2013). Se vuelve una situación problemática ya que existen estudios de la gravedad de este patógeno por producir micotoxinas y se sospecha que pueden ser cancerígenos (Greco et al., 2012). En un estudio realizado por Greco et al. (2012), descubrieron que el género *Alternaria* fue el componente principal de la microbiota del arándano en un 95%. Lo que sugiere proporcionar información sobre estrategias preventivas a los productores de arándano.

Asociado a la mancha redonda y marchitez de puntas del arándano se identificó al patógeno *Pestalotiopsis* sp. Ismail et al. (2013), señalan que las especies de *Pestalotiopsis* spp., no son específicos del hospedador y pueden infectar una amplia gama de plantas. Anteriormente se ha informado que la especie *P. clavispora* es responsable de la marchitez de puntas del arándano en China (Chen et al., 2016) y Uruguay (González et al., 2012). En cambio, la especie *P. photiniae* se ha asociado más a manchas foliares (Chen et al., 2010). Existe poca información sobre estos

patógenos en el cultivo de arándano, sin embargo, en otros cultivos se ha demostrado la relación endófito-patógeno de algunas especies de *Pestalotiopsis*, donde habitan en conjunto sin causar síntomas y posteriormente los factores fisiológicos o ambientales hacen que se vuelva patógeno (Maharachchikumbura et al., 2011).

Para comprender los efectos de las propiedades físicas y químicas de los sustratos en el desarrollo de la planta, varios autores sugieren que los suelos con alto contenido de materia orgánica pueden tener densidad aparente menores a  $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (Pennock et al., 2008), este criterio coincide con los valores obtenidos en el presente estudio, ya que los sustratos están constituidos principalmente por materiales orgánicos. Así como también un espacio poroso total bajo, influirá negativamente en el flujo de agua y aire dentro del sustrato. Estas variaciones de porosidad se atribuyen a factores como la forma, tamaño y tipo de poros, prácticas de molido y cernido (Anicua et al., 2009). Otra de las características importantes es la capacidad de aireación, un nivel adecuado indica la óptima difusión de oxígeno en la zona radicular, propicia buen crecimiento y acomodo de la misma, incrementando la actividad metabólica, la absorción de agua y nutrimentos (Verhagen, 2009). Al respecto, Valenzuela et al. (2014), señalan que una capacidad de aireación menor a 10 % afecta considerablemente en sustratos orgánicos ya que requieren de dos a tres veces más oxígeno que sustratos inorgánicos, para evitar deficiencia de oxígeno en las plantas por competencia con los microorganismos. La retención de humedad está determinada por el tamaño de las partículas y los diferentes tipos de poros, influyen en el movimiento del agua (Gutiérrez et al., 2011; Jiménez et al., 2014).

El pH de la mayoría de sustratos tuvo un comportamiento ácido, al respecto Barbaro et al. (2018), indican que valores de pH inferiores a 5.0 pueden ocasionar deficiencias de N, K, Ca y Mg. Lo que sugiere posibles deficiencias de estos nutrimentos en el cultivo de arándano. Los bajos niveles de nitrógeno encontrados en el presente estudio podrían estar involucrados en inducir condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades ocasionadas por parásitos facultativos (Torres et al., 2014), se ha reportado en *Alternaria solani* (Abuley et al., 2019), uno de los géneros de hongos encontrados en la investigación asociado a manchas foliares. En general, los valores de fósforo obtenidos en los sustratos estuvieron entre aceptables y altos, considerando

lo reportado por Bailey et al. (2003). Las deficiencias de fósforo están asociadas a suelos muy ácidos, esto quiere decir que estará menos disponibles con valores bajos de pH. Este nutrimento confiere capacidad de resistencia a enfermedades (Sharma et al., 2013). Se ha reportado que el exceso de potasio y magnesio pueden interferir de manera antagónica en la absorción de calcio (Retamales y Hancock, 2012), e inversamente el calcio es uno de los mayores antagonistas del P, Fe, Mn, Cu, Zn y B (Baset, 2015; Benton, 2012). Las posibles deficiencias derivadas de estos antagonismos pueden aumentar la incidencia de enfermedades. Su adecuada concentración aumenta la resistencia de los tejidos a la degradación por algunas enzimas pectolíticas de patógenos macerantes. Dordas (2008), menciona que los micronutrientes otorgan resistencia sistémica adquirida (SAR) la cual también está implicada en la supresión de las enfermedades.

Es bien sabido que la interacción suelo-planta-microorganismos-ambiente, repercute, de forma directa, en el crecimiento y en el desarrollo de las plantas (Cano, 2011). Pocos estudios demuestran como las propiedades físicas y químicas de sustratos influyen en la supresión o incremento de enfermedades. Por ello, se analizó la relación entre plantas enfermas y las propiedades físicas y químicas de sustratos. Los resultados evidenciaron mayor concentración de calcio en los sustratos de plantas enfermas, esto podría indicar que las plantas enfermas no están asimilando suficiente calcio, situación que conlleva a una posible deficiencia.

El calcio es fundamental en la defensa de las células de plantas contra la invasión de patógenos, siendo el pectato de calcio el que forma una barrera que evita la invasión por patógenos (Huber et al., 2012). Se ha demostrado que algunos patógenos secretan enzimas, como la polygalacturonasa, para atacar específicamente al pectato de calcio dentro de las estructuras de la pared celular, para debilitar las defensas y permitir la penetración de hifas (Laing, 2011). Lo que explica la estrecha correlación entre el contenido de calcio de los tejidos y su resistencia a las enfermedades fúngicas (Spann y Schumann, 2010).

En consecuencia, la deficiencia de calcio provocará un debilitamiento de la pared celular y membrana plasmática, dando condiciones favorables para el establecimiento

de patógenos (Iqbal et al., 2013). Esto podría explicar el incremento de incidencia y severidad de enfermedades foliares en las plantas de arándano.

Al respecto, Retamales y Hancock, (2018), mencionan que el cultivo de arándano es eficiente en la absorción y utilización del calcio y por lo tanto tienen bajos requerimientos de este nutrimento. A través del tiempo, ha desarrollado mecanismos para regular de forma eficiente excesos o deficiencias de calcio. Sus adaptaciones evolutivas a suelos ácidos, medios en donde las concentraciones de bases intercambiables están altamente desbalanceadas (Zhao *et al.*, 2014), le otorgan una alta capacidad para ajustar desequilibrios nutrimentales en especial de Ca, Mg y K (Retamales y Hancock, 2018).

En un estudio similar, Chen et al. (2019), observaron contenidos de calcio más bajos, en la rizosfera que el suelo no rizosférico de plantas de arándano tanto enfermas como sanas. Lo atribuyeron a los mecanismos por los cuales los arándanos absorben nutrientes.

Visto desde otra perspectiva, Saure (2014), concluye que la deficiencia de calcio no puede ser la causa directa, sino el resultado de la pudrición de la flor de tomate y pimiento. Señala que las causas reales son efectos de estrés abiótico, como salinidad, sequía, alta intensidad de luz, calor y nutrición de amoníaco, lo que resulta en un aumento de especies reactivas de oxígeno, alto estrés oxidativo y finalmente muerte celular. Asimismo, indica que considerar la deficiencia de calcio como un factor primario, ha impedido una mejor comprensión y un control más eficaz.

En este contexto, podría ser una situación similar a lo que ocurre en las plantas enfermas, sin embargo, es evidente que se necesitan más estudios fundamentales antes de poder llegar a una conclusión definitiva.

El arándano se caracteriza por no tolerar niveles altos de salinidad (Salgado et al., 2018). Sin embargo, el sustrato a base de peat moss + fibra de coco + perlita + 30% de tezontle (PT-FCC-PER-TEZN) se asoció a valores altos de Sodio. La finalidad de colocar 30 % de tezontle en la base del contenedor es para promover el buen drenaje, no obstante, se ha demostrado que el agua gravitacional no se moverá fácilmente de capas con textura fina a las capas de textura gruesa hasta que la textura más fina esté

saturada, por lo tanto, cuanto más grueso sea el material subyacente, más difícil será que el agua atraviese la interfaz. Dado que el objetivo de esta técnica es evitar la acumulación de agua en el contenedor, resulta evidente que la adición de este material induce el mismo estado de saturación que se pretende evitar (Washington State University, 2021). Estas evidencias afirman que agregar material de drenaje sólo dificultará el movimiento del agua y por ende habrá mayor acumulación de sodio en los contenedores. En consecuencia, los cultivos pueden sufrir una doble lesión: toxicidad por sodio y deficiencia de potasio (Zhang et al., 2010). Los excesos de salinidad reducen el crecimiento, provocan marchitamiento y quemaduras en bordes de la hoja (Kaymakanova, 2009). En el estudio de campo se observaron quemaduras en bordes de la hoja lo que coincide con las características antes mencionadas.

La mayor severidad de enfermedades foliares se observó en el sustrato PET-FBCC-PER-TEZN el cual también coincide con alta salinidad. Varios autores afirman que los efectos salinos sobre las plantas son irreversibles, además, de provocar un estrés abiótico y predisponerlas a enfermedades (Boix et al., 2014). Entre ellas *Alternaria* spp., (Hammami et al., 2016), lo que coincide con el género del patógeno encontrado en las plantas de arándano cultivadas en dicho sustrato.

Boix et al. (2014), informaron que la fertilización con  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$  y el riego con agua salina ( $\text{NaCl}$ ,  $2\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y un pH ácido ( $< 4$ ) en suelo, incrementa las enfermedades causadas por hongos, así como el alto contenido en sodio (Na) y bajo contenido de calcio se asocian a una mayor gravedad de la enfermedad.

Las plantas de arándano están adaptadas para utilizar el amonio como forma predominante de nitrógeno, se vuelve importante en medios ácidos ya que se absorbe más fácilmente que el calcio (Benton, 2012). Los sustratos de plantas de 1 año tendieron a mayor contenido de amonio, por ende, mayor contenido de nitrógeno total. De acuerdo con Bailey et al. (2003), los sustratos se encuentran en un nivel bajo. Lo clasifica de la siguiente manera ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ): bajo 0 - 39, aceptable 40-99, óptimo 100-199, alto 200 - 299, muy alto  $> 300$ . En virtud de esto se puede considerar que las plantas de arándano no están expresando su máximo potencial productivo. La deficiencia de esta nutriente provoca un debilitamiento en la planta e induce condiciones favorables

para el desarrollo de patógenos (Torres et al., 2014), tales como *Alternaria solani* (Abuley et al., 2019) *Fusarium oxysporum* y algunos oomicetos (Torres et al., 2014).

Finalmente, las variedades Atlas y Jupiter tendieron a mayor CE y coincidieron con el sustrato PET-FBCC-PER-TEZN que presentó mayor contenido de sodio. Al respecto, Machado et al. (2012) demostró que el crecimiento de raíces y hojas de arándano se ve afectado con  $CE > 1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Recomiendan que en la fertirrigación se mantengan una  $CE < 2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  para evitar daños. Mediante esta afirmación se prevén daños en las plantaciones de arándano que presentaron mayor CE.

## 5. CONCLUSIONES

En función de los objetivos planteados en el presente estudio se obtuvieron las siguientes conclusiones.

El diagnóstico realizado para conocer los géneros de hongos asociados a manchas foliares evidencio la presencia de *Corynespora* sp., *Alternaria* sp., y *Pestalotiopsis* sp. Asimismo, el agente causal de la marchitez de puntas se identificó como *Pestalotiopsis* sp.

Los sustratos presentaron un bajo contenido de nitrógeno total, en virtud de esto se podría considerar que las plantas están expuestas al ataque de patógenos facultativos. Además de afectar el potencial productivo.

El sustrato PT-FCC-PER-TEZN se asoció a valores altos de sodio. Esta condición se atribuye a la estrategia de colocar 30 % de tezontle en la base del contenedor ya que dificulta el movimiento del agua, provocando una mayor acumulación de sodio en los contenedores.

El contenido de calcio tendió a ser significativamente mayor en las plantas enfermas que en las plantas sanas. Por lo tanto, indica que las plantas enfermas no están asimilando suficiente calcio. Dando como resultado el incremento de incidencia y severidad de enfermedades foliares en las plantas de arándano.

La mayor severidad de enfermedades foliares se observó en el sustrato PET-FBCC-PER-TEZN el cual también coincide con los valores más altos de salinidad y CE. La

alta salinidad provoca un estrés abiótico en las plantas y predispone inevitablemente al ataque de patógenos.

## 6. LITERATURA CITADA

- Abad M. (1995). Sustratos para el cultivo sin suelo. En: *El cultivo del tomate*. (Nuez, F. Ed.). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, pp. 131-265.
- Abad, B. M., Noguera, P. M. (2005). *Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación*. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España. 299-352 pp.
- Abdi, H., and Williams, L. J. (2010). *Principal Components Analysis*. WIREs Computational Statistics, pp. 433-458.
- Abuley, I. K., Nielsen, B. J., and Hansen, H. H. (2019). The influence of timing the application of nitrogen fertilizer on early blight (*Alternaria solani*). *Pest management science*, 75(4), 1150-1158.
- Anicua, R., Gutiérrez, M., Sánchez, P., Ortiz, C., Volke, V. y Rubiños, J. (2009). Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura Técnica en México* 35(2): 147-156.
- Bailey, D. A., Fonteno, W. C., and Nelson, P. V. (2003). *Greenhouse Substrates and Fertilization*. Department of Horticultural Science, NCSU 1-15.
- Barnett, H.L. and Hunter, B.B. (2006). *Illustrated genera of imperfect fungi*. Fourth Edition. The American Phytopathological Society.
- Baset M., M. A. (2015). *Nutrition of crop plants*. USA. Nova Science Publishers. 187 pp.
- Benton J., J. (2012). *Plant nutrition and soil fertility manual*. 2nd ed. USA. CRC. Press. 273 pp.
- Blok, C., De Kreij C., Baas, R., Wever, G. (2008). *Chapter 7. Analytical Methods Used in Soilless Cultivation*. In *Soilless Culture: Theory and Practice*. Raviv, M., Lieth J. H. (Eds.). Editorial Elsevier. United Stated of America. p.p. 245–290.

- Boix, R. A., Fernández, M. J. M., Cara, G. M., Sánchez, G. J. A., Camacho, F. F. Tello, M. J. C. (2014). A syndrome associated to *Fusarium oxysporum* and irrigation water salinity causing death of tomato plants in Almería (Southeaster Spain). *IDESIA*, 32(2), 101-113.
- Bonilla, V. J., and Esquivel, A. A. (2018). Micropropagation protocol of native Costa Rican blueberry (*Vaccinium consanguinium*). *Technology in Motion*, 31(1), 144-159., 31(1), 144-159.
- Cano, G. A., Uzcanga, P. N. G., Aguilar, D. Y., Canales, C. R., & Ramírez, S. J. (2015). Método bidimensional sistematizado aleatorio. Alternativa para el muestreo de suelos en la península de Yucatán. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación, 385.
- Cano, M. A. (2011). Interaction of beneficial microorganisms in plants: mycorrhizae, *Trichoderma* spp. and *Pseudomonas* spp. A review. *UDCA Journal Actualidad and Scientific Disclosure*, 14 (2), 15-31.
- Castellanos Z., J. y T. Vargas, P. (2003). El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero. In: *Manual de producción hortícola en invernadero*. Muñoz, R. J. J. y Castellanos, J. Z. (eds). INCAPA. México. D. F. 130-156 pp.
- Castellanos, J. Z., Uvalle, B. J. X. y Aguilar, S. A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelo y agua. 2ª ed. Colección Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA). San Miguel de Allende, Guanajuato, México. 226 p.
- Chen, C. Q., Zhang, B., and Gao, J. (2010). Leaf spot disease of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*) caused by *Pestalotiopsis photiniae* newly reported in China. *New Disease Reports*, 22(1), 31-31.
- Chen, S., Zhu, Y., Shao, T., Long, X., Gao, X., and Zhou, Z. (2019). Relationship between rhizosphere soil properties and disease severity in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *Applied Soil Ecology*, 137, 187-194.

- Chen, Y., Zhang, A. F., Yang, X., Gu, C. Y., Kyaw, E. P., Yi, X. K., and Xu, Y. L. (2016). First report of *Pestalotiopsis clavispora* causing twig blight on highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) in Anhui province of China. *Plant Disease*, 100(4), 859.
- Comité de Acción de Resistencia a los Fungicidas (FRAC). (2014). Lista de riesgo de patógenos. Recuperado el 13 de marzo del 2021 de: <http://www.frac.info/docs/default-source/publications/patogeno-riesgo/patogeno-riesgo-list.pdf?sfvrsn=8>.
- De Boodt, M., Verdonck, O. and Cappaert, I. (1974). Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticult.*, 37: 2054-2062.
- Dong, X. Y., and Yang, Y. L. (2019). A novel approach to enhance blueberry quality during storage using cold plasma at atmospheric air pressure. *Food and Bioprocess Technology*, 12(8), 1409-1421.
- Gayosso, R., S., Borges, G. L., Villanueva, C. E., Estrada, B. M. A., y Garruña, R. (2018). Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia*, 52(4), 639-652.
- González, P., Alaniz, S., Montelongo, M. J., Rauduviniche, L., Rebellato, J., Silvera-Pérez, E., and Mondino, P. (2012). First report of *Pestalotiopsis clavispora* causing dieback on blueberry in Uruguay. *Plant disease*, 96(6), 914-914.
- Greco, M., Patriarca, A., Terminiello, L., Pinto, V. F., and Pose, G. (2012). Toxigenic *Alternaria* species from Argentinean blueberries. *International Journal of Food Microbiology*, 154(3), 187-191.
- Gutiérrez C., M., D. Carmen, J. Hernández E., C. A. Ortiz S., R. Anicua S., y M. Hernández L. 2011. Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17: 183-196.
- Gutiérrez, C. M., Carmen, D., Hernández, E. J., Ortiz, S. C. A., Anicua, S. R., y Hernández, L. M. (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.

- Hammami, H., Baptista, P., Martins, F., Gomes, T., Abdelly, C., and Mahmoud, O. M. B. (2016). Impact of a natural soil salinity gradient on fungal endophytes in wild barley (*Hordeum maritimum* With.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(11), 1-11.
- Handreck, K. A., Black, N. (2005). *Growing media for ornamental plant and turf*. Revised edition. New South Wales University Press. Kensington, Australia. 544.
- Hirzel, J. (2014). *Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides*. Segunda edición aumentada y corregida. Colección libros INIA N°31. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. 322 p.
- Huber, D., Römheld, V., and Weinmann, M. (2012). Relationship between nutrition, plant diseases and pests. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic Press. pp. 283-298.
- Iqbal, N., Trivellini, A., Masood, A., Ferrante, A., and Khan, N. A. (2013). Current understanding on ethylene signaling in plants: the influence of nutrient availability. *Plant Physiology and Biochemistry*, 73, 128-138.
- Ismail, A. M., Cirvilleri, G., and Polizzi, G. (2013). Characterisation and pathogenicity of *Pestalotiopsis uvicola* and *Pestalotiopsis clavispora* causing grey leaf spot of mango (*Mangifera indica* L.) in Italy. *European Journal of Plant Pathology*, 135(4), 619-625.
- Jiménez, M. A., González, C. C., Gutiérrez, M. C. C., Lara, M. E. H., y García, J. L. C. (2014). Producción de inóculo micorrízico de *Gigaspora gigantea* en mezclas de sustratos con diferentes tamaños de particular. *Agrociencia* 48: 239-254.
- Kaymakanova, M. (2009). Effect of salinity on germination and seed physiology in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 23(sup1), 326-329.
- Laing, D. (2011). La deficiencia transitoria de calcio como la causa primordial de la pudrición de cogollo en la palma de aceite. *Informaciones agronómicas del IPNI*, 3, 26-52.

- Li, Y., Zhang, D., Xu, W., Wu, Z., Guo, M., and Cao, A. (2011). *Alternaria tenuissima* causing leaf spot and fruit rot on pepper (*Capsicum annuum*): first report in China. *New Dis Rep*, 24(3), 2044-0588.
- Machado, R. M., Bryla, D. R., and Vargas, O. (2012). Effects of salinity induced by ammonium sulfate fertilizer on root and shoot growth of highbush blueberry. In *X International Symposium on Vaccinium and Other Superfruits 1017* (pp. 407-414).
- MacKenzie, K. J., Sumabat, L. G., Xavier, K. V., and Vallad, G. E. (2018). A review of *Corynespora cassiicola* and its increasing relevance to tomato in Florida. *Plant Health Progress*, 19(4), 303-309.
- Maharachchikumbura, S. S., Guo, L. D., Chukeatirote, E., Bahkali, A. H., and Hyde, K. D. (2011). Pestalotiopsis-morphology, phylogeny, biochemistry and diversity. *Fungal Diversity*, 50(1), 167-187.
- Marastoni, L., Sandri, M., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Brunetto, G., Cesco, S., and Mimmo, T. (2019). Synergism and antagonisms between nutrients induced by copper toxicity in grapevine rootstocks: Monocropping vs. intercropping. *Chemosphere*, 214, 563-578.
- 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.
- Muyen, Z., Moore, G. A., and Wrigley, R. J. (2011). Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agricultural Water Management*, 99(1), 33-41.
- Onofre, R. B., Mertely, J. C., Aguiar, F. M., Timilsina, S., Harmon, P., Vallad, G. E., and Peres, N. A. (2016). First report of target spot caused by *Corynespora cassiicola* on blueberry in North America. *Plant Disease*, 100(2), 528.
- Percival C. D., Janes, D. E., Stevens, D. E., Sanderson, K. (2003). Impact of multiple fertilizer applications on plant growth, development, and yield of wild lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait). *Acta Horticulture*, 626 pp. 415-421.

- Pii, Y., Cesco, S., and 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.
- Quintero, M. F., González, C. A., y Guzmán, J. M. (2011). Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. Flórez R., VJ (ed). *Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo*. Universidad Nacional de Bogotá. Colombia. pp, 79-108.
- Radjacommare, R., Venkatesan, S., Samiyappan, R. (2010). Biological control of phytopathogenic fungi of vanilla through lytic action of *Trichoderma* species and *Pseudomonas fluorescens*. *Phytopathology and Plant Protection*. 43(1):1-17.
- Rebollar-Alviter, A., Minnis, A. M., Dixon, L. J., Castlebury, L. A., Ramírez-Mendoza, M. R., Silva-Rojas, H. V., and Valdovinos-Ponce, G. (2011). First report of leaf rust of blueberry caused by *Thekopsora minima* in Mexico. *Plant disease*, 95(6), 772-772.
- Retamales, J. B. and Hancock, J. F. (2018). *Blueberries*. 2nd Edition. Crop production science in horticulture series. USA. CABI. 411 pp.
- Salgado V. C., Sánchez, G. P., Volke, H. V. H., and Colinas, L. M. T. (2018). Respuesta agronómica de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) al estrés osmótico. *Agrociencia*, 52(2), 231-239.
- Santos, L., Silva, E. D. B., e Bragança, S. (2019). Comportamento diferencial de cultivares de mamoeiro, introduzidas do Estado do Espírito Santo, à infecção de *Corynespora cassicola* (Berk. & Curt.) Wei e aos nutrientes, em condições edafoclimáticas do Amazonas. In Carvalho, P. O., Prestes, L. (Eds.) *Tecnologia de Produção em Fruticultura*, p. 111-128.
- Saure, M. C. (2014). Why calcium deficiency is not the cause of blossom-end rot in tomato and pepper fruit—a reappraisal. *Scientia Horticulturae*, 174, 151-154.
- Scherm, H., and Krewer, G. (2008). Disease management in organic rabbiteye blueberries. *International journal of fruit science*, 8(1-2), 69-80.

- Schlub, R. L., Smith, L. J., Datnoff, L. E., and Pernezny, K. (2007). An overview of target spot of tomato caused by *Corynespora cassiicola*. *Acta Hort.* 808:25-28.
- Spann, T. M., and Schumann, A. W. (2010). Mineral nutrition contributes to plant disease and pest resistance. *Department of Horticultural Sciences, UF / IFAS Extension*, 2010(4).
- Torres, O. V., Villegas, T. O. G., Domínguez, P. M. L., Sotelo, N. H., Rodríguez, M. A., Melgoza, A. R. M., and Alia, T. I. (2014). Role of nitrogen and nutrients in crop nutrition. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 4(1B), 29.
- 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 Tecnologia 4*: 1-19.
- Vence, L. B., Valenzuela, O. R., Svartz, H. A., and Conti, M. E. (2013). Substrate choice and irrigation management using water retention curves as a tool. *Soil Science*, 31(2), 153-164.
- Wang, C., Gao, Y., Tao, Y., Wu, X., and Zhibo, C. (2017). Influence of  $\gamma$ -irradiation on the reactive-oxygen metabolism of blueberry fruit during cold storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 41, 397-403.
- Washington State University. (2021). *The Myth of Drainage Material in Container Plantings: "Add a layer of gravel or other coarse material in the bottom of containers to improve drainage"*. Recuperado el 11 de mayo del 2021 de: <https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/403/2015/03/container-drainage.pdf>.
- You, M. P., Lanoiselet, V., Wang, C. P., and 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), 423-423.
- Zhang, J. L., Flowers, T. J., & Wang, S. M. (2010). Mechanisms of sodium uptake by roots of higher plants. *Plant and soil*, 326(1), 45-60.
- Zhao, X. Q., Chen, R. F. & Shen, R. F. (2014). Coadaptation of plants to multiple stresses in acidic soils. *Technical note. Soil Science*, 179:503-513.