

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN AGRICULTURA PROTEGIDA
UNIDAD ACADÉMICA DE AGRICULTURA



TESIS

"PRODUCCIÓN DE ARÁNDANO HIDROPÓNICO EN SUSTRATO ORGÁNICO E INORGÁNICO"

Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:

Maestría en Agricultura Protegida

Por:

Ing. Edwin Nathan Carrillo Garcia

Director de tesis:

Dr. Rubén Bugarin Montoya

Co-Director

Dr. Gelacio Alejo Santiago

Asesora:

Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete

Xalisco, Nayarit 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN AGRICULTURA PROTEGIDA
UNIDAD ACADÉMICA DE AGRICULTURA



TESIS

“PRODUCCIÓN DE ARÁNDANO HIDROPÓNICO EN SUSTRATO ORGÁNICO E INORGÁNICO”

Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:
Maestría en Agricultura Protegida

Por:
Ing. Edwin Nathan Carrillo Garcia

Director de tesis:
Dr. Rubén Bugarín Montoya

Co-Director
Dr. Gelacio Alejo Santiago

Asesora:
Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete

Xalisco, Nayarit 2018



MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN AGRICULTURA PROTEGIDA

MIAP/140/18.

Xalisco, Nayarit; 10 de diciembre de 2018.

ING. JOSÉ ERNESTO VILLANUEVA TREJO
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
PRESENTE

Con base al oficio de fecha 08 de diciembre del presente enviado por los **CC. Dr. Rubén Bugarín Montoya, Dr. Gelacio Alejo Santiago y Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete**, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, por tanto se autoriza su impresión, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza el **C. Edwin Nathan Carrillo García**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado del Programa de Maestría en Agricultura Protegida.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Por lo nuestro a lo Universal"

JHONATHAN CAMBERO C.
Dr. Octavio Jhonathan Cambero Camp
Coordinador



c.c.p. El interesado.
c.c.p. Archivo



Xalisco, Nayarit; 8 de Diciembre de 2018

DR. OCTAVIO JHONATHAN CAMBERO CAMPOS
COORDINADOR DEL POSGRADO MIAP
PRESENTE

Los suscritos integrantes del Comité Tutorial para asesorar la tesis titulada: **“PRODUCCIÓN DE ARÁNDANO HIDROPÓNICO EN SUSTRATO ORGÁNICO E INORGÁNICO”**, que presenta el Ing. Edwin Nathan Carrillo Garcia, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Atentamente:

Director:



Dr. Rubén Bugarín Montoya

Co-Director:



Dr. Gelacio Alejo Santiago

Asesora:



Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I	3
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO II	6
REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Generalidades del cultivo.....	6
2.1.1 Origen	6
2.1.2. Características del cv. Biloxi	8
2.2 El uso de sustrato en los cultivos sin suelo	8
2.2.2 Características y propiedades de los sustratos.....	9
2.2.4 Clasificación de los sustratos.....	11
2.2.5 Características de los sustratos en estudio	12
2.2.5.1. Tezontle rojo	12
2.2.5.2. Composta de corteza de pino.....	12
2.2.5.3. Cascarilla de arroz.....	13
2.2.5.4 Fibra de coco	13
CAPÍTULO III	15
MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Localización.....	15
3.2 Material vegetal.....	15
3.3 Establecimiento del experimento.....	15
3.3 Solución nutritiva.....	16
3.4 Caracterización de sustratos	17
3.5 Riego.....	17
3.6 Poda y tutorado.....	18
3.7 Tratamientos y diseño experimental	18
3.8 Variables.....	19

3.8.1. Consumo diario de agua en etapa de floración fructificación en el intervalo de 240 – 247 días después de trasplante.....	19
3.8.2. Conductividad Eléctrica (CE) y pH en la solución drenada.....	19
3.8.3. Consumo relativo diario de NO ₃ , Ca y K en etapa de floración fructificación durante el intervalo de 240 – 247 días después del trasplante.....	20
3.8.4. Diámetro y altura de tallos.....	20
CAPÍTULO IV	23
RESULTADOS Y DISCUSIONES	23
4.1. Consumo de agua durante siete días continuos en la etapa de floración fructificación.....	23
4.2. C.E. en solución drenada.....	26
4.3. pH en solución drenada.	28
4.4. Consumo relativo diario de NO ₃ ⁻ , Ca y K en etapa de floración fructificación durante el intervalo de 240 – 247 días después del trasplante.....	29
4.4.1. Consumo relativo diario de Ca y K en etapa de floración fructificación durante el intervalo de 240 – 247 días después del trasplante.....	31
4.5. Diámetro y altura de tallos en etapa de floración y fructificación.....	34
4.6. Concentración nutrimental foliar en etapa de floración y fructificación.....	36
4.7. Producción acumulada de fruto.....	41
4.8. pH del fruto.....	43
4.9. Sólidos solubles totales (°Brix) del fruto.....	44
4.10. Calibre de frutos.....	46
4.11. Firmeza de fruto.....	47
CONCLUSIONES	49
CAPÍTULO VII	50
LITERATURA CITADA	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de la solución universal de Steiner (Steiner 1961) modificada con la inclusión del ion amonio.....	16
Cuadro 2. Riqueza porcentual de ULTRASOL Micro Mix®.....	16
Cuadro 3. Curva de liberación de agua.....	17
Cuadro 4. Tratamientos.....	18
Cuadro 5. Consumo de agua en un periodo de siete días continuos en etapa de floración fructificación.....	23
Cuadro 6. CE de percolado en los 7 días regados.....	27
Cuadro 7. pH de percolado en un periodo de 7 días continuos.....	28
Cuadro 8. Consumo relativo diario de NO₃.....	30
Cuadro 9. Consumo relativo diario de Ca.....	32
Cuadro 10. Consumo relativo diario de K.....	33
Cuadro 11. Diámetro y altura de tallos en etapa de floración.....	34
Cuadro 12. Diámetro y altura de tallos en etapa de fructificación.....	35
Cuadro 13. Concentración nutrimental foliar en etapa de floración.....	37
Cuadro 14. Concentración nutrimental foliar en etapa de fructificación.....	39
Cuadro 15. Suficiencias nutrimentales foliares (Hanson y Hancock, 1996).	40
Cuadro 16. Producción acumulada.....	42
Cuadro 17. pH del fruto de arándano cultivado en diferentes sustratos.....	43
Cuadro 18. Sólidos Solubles Totales (°Brix) del fruto.....	44
Cuadro 19. Firmeza del fruto de arándano cultivado en diferentes sustratos.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de liberación de agua.....	25
Figura 2. Tamaño de frutos de arándano cultivado en diferentes sustratos.....	46

RESUMEN

El experimento se llevó a cabo en un invernadero tipo semitúnel, con ventilación cenital y lateral, sin control climático y cubierta de plástico. Se evaluó producción y calidad de fruto de arándano cv Biloxi, además, concentración nutrimental foliar y aspectos de irrigación, tales como; consumo de agua, pH, CE y NO_3^- en el percolado. Se utilizaron plantas de un año de edad propagadas *in vitro*, las cuales fueron plantadas sobre bolsas negras con resistencia a rayos UV con capacidad de 15 L. Las macetas se dispusieron a distancias entre hilera de 2.0 m y una distancia entre planta de 0.5. Los tratamientos se establecieron en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento. Cada repetición constó de seis plantas en competencia completa, dando un total de 120 plantas. Tres tratamientos fueron mezclas: composta de corteza de pino y cascarilla de arroz (70/30); tezontle y fibra de coco (80/20); fibra de coco y composta de pino (60/40). El cuarto tratamiento consistió únicamente de tezontle, con granulometría de 6 mm a fino (testigo). Las variables en estudio referente a fruto fueron producción por planta y calidad de fruto (pH, SST, Tamaño y Firmeza). Se cuantificó además, la concentración nutrimental foliar, diámetro y altura de tallos, consumo de agua y parámetros químicos en la solución drenada como son pH, CE y concentración de NO_3^- . Se concluyó que el tipo de sustrato, influye directamente en la producción y calidad del fruto, siendo el tratamiento de tezontle con fibra de coco con relación 80/20 el de mayor calidad de fruto y rendimiento, reportándose una producción acumulada por planta de 435.3 g.

ABSTRACT

The experiment was carried out in a half-tunnel type greenhouse, with top and side ventilation, without climate control and plastic cover. Production and quality was evaluated of blueberry fruit Biloxi variety, also, foliar nutritional concentration and aspects of irrigation, such as; water consumption, pH, EC and NO₃⁻ in the percolate. One-year-old plants propagated *in vitro* were used, which were planted on black bags with UV resistance with a capacity of 15 L. The pots were placed at distances between rows of 2.0 m and a distance between plants of 0.5. The treatments were established in a completely randomized design with five repetitions per treatment. Each repetition consisted of six plants in full competition, giving a total of 120 plants. Three treatments were mixtures: pine bark compost and rice husk (70/30); tezontle and coconut fiber (80/20); coconut fiber and pine compost (60/40). Only the fourth treatment was tezontle, with granulometry of 6 mm to fine (control). The variables under study regarding fruit were production per plant and fruit quality (pH, TSS, Size and Firmness). It was also quantified the foliar nutritional concentration, diameter and height of stems, water consumption and chemical parameters in the drained solution such as pH, EC and NO₃⁻ concentration. It was concluded that the type of substrate, directly influences the production and quality of the fruit, being the treatment of tezontle with coconut fiber with 80/20 relation of the highest quality of fruit and yield, reporting an accumulated production per plant of 435.3 g.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) es una frutilla cuya demanda a nivel mundial se ha incrementado en los últimos años, ya sea en fresco, deshidratado o procesado. El aspecto visual, sabor y textura de los frutos, así como su efecto antioxidante debido a la alta concentración de antocianinas y polifenoles, lo hacen atractivo para el consumo humano (Mann, 2014; Ochmian *et al.*, 2006). En el año 2016, la FAO registró que la producción mundial de arándanos ascendió a 552,505 t y los cinco principales países productores fueron Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, México, Polonia y Alemania (FAOSTAT, 2016). México ocupa el tercer lugar mundial como productor con una superficie cultivada de tres mil hectáreas distribuidas en nueve entidades; y registró un incremento en 45.1% durante el periodo del año 2014 a 2015, con un rendimiento medio de 9.9 t ha⁻¹ y un precio medio rural de 56.8 mil pesos la tonelada (SIAP, 2017).

La mayor superficie establecida en el mundo y en México con esta frutilla es en suelo. En nuestro país, la producción de arándano en su mayor parte se realiza en condiciones de agricultura protegida, con el uso de macrotúneles con cubierta de plástico, y en menor proporción se utilizan invernaderos. El uso de cubiertas y sistemas hidropónicos en la producción de arándano aun es tema de estudio; sin embargo, la utilización de ambos sistemas combinados continúa en crecimiento y se han convertido en tecnologías ideales para el futuro de esta frutilla. Por un lado, las cubiertas plásticas brindan una protección al cultivo ante factores bióticos (aves) y abióticos (lluvia y exceso de radiación), como también una precocidad en la producción causada por el microclima generado por la estructura. Por otro lado, la nutrición localizada mediante soluciones que aportan todos los nutrientes necesarios a la planta, hace que esta exprese su máximo potencial productivo (Retamal, 2014; Pinto *et al.*, 2016). Se han reportado rendimientos de arándano de hasta un kg de fruta por planta en el primer año, comparado con 300 a 500 gramos por planta, obtenidos en cultivos establecidos en suelo, disminuyendo

significativamente el tiempo de recuperación de la inversión (Mann, 2014). Además de incrementar la calidad y sanidad del producto cosechado (Quintero *et al.*, 2011; Beltrano y Daniel, 2015).

Tanto el tamaño del contenedor como el tipo de sustrato a utilizar también sigue siendo objeto de estudio. Pinto *et al.* (2016) utilizaron contenedores de 15 a 25 litros y sustratos comerciales de origen orgánico. Las empresas por su parte, emplean contenedores de plástico en varios formatos con un volumen desde 35 a 50 litros, que incluyen el uso de sustratos orgánicos e inorgánicos, solos o en combinación. Aun cuando no existe un dato preciso de la superficie en cultivo hidropónico con esta especie, se considera que el empleo de dicha técnica es elevada y muchos proyectos comerciales nuevos de arándano en el país, se están estableciendo mediante este sistema, en virtud de la obtención de mayores rendimientos que en suelo. Es común que las empresas utilicen sustratos con mezclas especiales, importados de diferentes países, muy probablemente por el desconocimiento de algunos materiales alternativos regionales, como es el caso de la estopa de coco, roca volcánica basáltica conocida como tezontle rojo o negro, o corteza de pino compostada, entre otros, que han dado resultados exitosos en cultivos hortícolas en hidroponía. La alta disponibilidad de éstos materiales regionales, y su menor costo en comparación a los sustratos importados, permiten considerarlos como excelentes alternativas en la producción comercial de arándano.

Por lo anterior, en la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis.

1. OBJETIVO E HIPÓTESIS

1.1. Objetivo general

Determinar el efecto de diferentes sustratos orgánicos e inorgánicos en el crecimiento, producción y calidad de arándano cv. Biloxi.

1.1.1. Objetivos particulares

Evaluar las características físicas y químicas de cuatro sustratos, a base de tezontle rojo, estopa de coco, cascarilla de arroz y corteza de pino compostado.

Determinar la variación temporal del pH, conductividad eléctrica y concentraciones de NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} en los efluentes de la solución nutritiva en los diferentes sustratos utilizados.

Cuantificar la producción de frutos frescos de arándano y determinar su calidad en función de los diferentes sustratos empleados.

1.2. Hipótesis

El crecimiento de las plantas de arándano, así como su producción y calidad estarán influenciados por el tipo de sustrato inorgánico u orgánico, solos o en combinación.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del cultivo de arándano mundial y nacional.

La producción mundial de arándano asciende a 525,621 toneladas y los cinco principales países productores son; EUA, Canadá, México, Polonia y Alemania. Los dos primeros países lideran esta lista, concentrando el 85 % de la producción mundial. El país con mayor superficie cultivada es Canadá, con 39,083 hectáreas; sin embargo, EUA con 34,297 hectáreas produce 262,539 toneladas, superando las 182,275 toneladas de Canadá. En este contexto, EUA es importante como productor, consumidor e importador (FAOSTAT, 2016). El arándano en México se considera como un cultivo en crecimiento, las condiciones que lo favorecen son el costo bajo de la mano de obra, cercanía a los mercados principalmente EE.UU., clima óptimo en varias regiones geográficas y época de producción en meses de altos precios, desde noviembre a marzo. México registró para 2013 una superficie de 1,463 hectáreas, siendo los principales estados productores; Michoacán, Jalisco, Baja California, Sinaloa, Puebla y México. Michoacán y Jalisco concentran el 75% de la producción nacional (Bascope, 2013).

2.1. Generalidades del cultivo

2.1.1 Origen

Las tres especies de arándano de importancia económica provienen de Norteamérica, las cuales incluyen arándano bajo o "Lowbush" (*Vaccinium angustifolium* Alton), arándano alto o "Highbush" (*Vaccinium corymbosum* L.) y ojo de conejo o "rabbit eye" (*Vaccinium ashei* Reade). La especie highbush o

"arándanos altos del norte", es nativa del Noroeste de América del Norte, se le caracteriza por un alto requerimiento de horas frío (800 - 1000 HF), llegando a resistir temperaturas de hasta -30 °C (Mesa, 2015).

El pionero en la domesticación de especies silvestres la comenzó Frederick Coville a partir de 1911 en el Departamento de Agricultura de EUA (USDA), donde por medio de cruzas logró la obtención de híbridos. Posteriormente a este programa de mejoramiento se sumaron Universidades como la de Michigan, Nueva Jersey, Wisconsin, Carolina del Norte, Georgia y Florida. Esto contribuyó a extender comercialmente el cultivo, aumentando la productividad y calidad de fruto, además de generar una adaptabilidad a suelos y climas variados. Esta adaptabilidad propició el traspaso de fronteras a nuevas regiones del mundo (San Martín, 2013).

Las variedades de bajo requerimiento de horas frío y capaces de producir en zonas cálidas como en algunas regiones de México, son los híbridos provenientes de arándano alto o "highbush" (*V. corymbosum*) y dos especies nativas del sudeste de Norteamérica: un arándano siempre verde (*V. darrowii*) y el arándano ojo de conejo o "rabbit-eye" (*V. ashei*). Estos híbridos de propagación libre son: "O Neal", "Georgia Gem" y "Misty" (San Martín, 2013).

Las variedades que más recientemente han reemplazado a las anteriores, ya que pueden soportar suelos ligeramente más alcalinos, con un mayor calibre de fruto y firmeza, ayudando a una mejor vida post cosecha son: "Star" de cosecha muy temprana, "Biloxi", "Jewel", "Emerald" de cosecha temprana, y "Southmoon", "Jubilee", "Reveille" y "Legacy" con cosecha de media estación (San Martín, 2013).

La variedad Biloxi se originó de las especies *V. corymbosum* y *V. darrowii*. La especie *V. darrowii* es nativa del Sudeste de los EE.UU. y su principal característica es el bajo requerimiento de horas frío (200 – 400 HF). Esta característica es transmitida a los materiales provenientes de estas dos especies, como es el caso de la variedad Biloxi (Barbat, 2005), la cual fue desarrollada en Misisipi en 1998 utilizando las variedades Sharpeblue y US 329 (Retamales y Hancock, 2012; Spiers, 2002).

2.1.2. Características del cv. Biloxi

Es una planta de hábito erecto, vigorosa y productiva, con una altura comprendida en un rango que varía de 1,5 a 7,0 m. La planta se desarrolla muy bien en suelos de textura ligera, con buen drenaje y buena retención de humedad, con un pH ácido inferior a 5,5 siendo el óptimo entre 4,5 y 5,5 (García y García, 2005). El cultivar Biloxi florece temprano, pudiendo ser afectada por heladas, el tamaño de la baya es pequeño a mediano, teniendo un peso medio de 1.47 g por fruto, con solo una cicatriz mediana, azul claro, muy firme, y de buen sabor. Se le caracteriza por producir frutos con un pH de 3.2 y con un contenido de sólidos solubles de 13.14% (San Martín, 2013; Hernández, 2014; Retamales y Hancock, 2012).

2.2 El uso de sustratos en los cultivos sin suelo

El arándano cultivado en sistemas hidropónicos es menos común que 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 se incrementa la productividad por planta, volviendo eficiente el uso de agua y fertilizantes (Quintero *et al.*, 2011; Beltrano y Daniel, 2015).

La idoneidad del sustrato, está sujeta a la buena gestión agronómica, como lo menciona Pastor (2002), "el mejor sustrato será aquel que proporcione la máxima cantidad de agua, el mayor volumen de aire, los elementos nutritivos necesarios, el anclaje adecuado para las raíces y que, además, no contenga ningún componente que frene el crecimiento de la planta".

El confinamiento de las raíces a un contenedor deja a la planta totalmente dependiente a las condiciones provistas. Elegir sustratos correctamente se traduce en ganancias, por ello es que el éxito o fracaso de un sistema hidropónico depende en gran medida del sustrato, ya que el crecimiento, desarrollo y

producción estará influenciado por las condiciones ofrecidas a las raíces (López *et al.*, 2005).

El sustrato ideal universal no existe, pero si el sustrato ideal particular, adecuado a las necesidades de cada situación, para ello la caracterización es primordial y tener conocimiento de cada una de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Pastor, 2002).

2.2.2 Características y propiedades de los sustratos

Un sustrato consta de tres fases, fase sólida, asegura el soporte de las raíces; fase líquida, está relacionada con la disponibilidad de agua y nutrientes; fase gaseosa, es importante para el intercambio de oxígeno y bióxido de carbono de las raíces con el medio ambiente (Díaz, 2004). Para lograr el objetivo de alta producción en el cultivar a establecer, el sustrato debe cumplir ciertas características físicas, químicas y biológicas en caso de materiales orgánicos. Sin embargo, las propiedades físicas se postulan como una de las más importantes, debido a la imposibilidad de hacer cambios una vez establecido el cultivo (Cruz, 2013).

Las características físicas, son las que están determinadas por su granulometría, estructura interna de las partículas y tipo de empaquetamiento. Las principales propiedades físicas son: densidad real y aparente, distribución granulométrica, porosidad y aireación, retención de agua, permeabilidad, distribución de tamaños de poros y estabilidad estructural (Díaz, 2004).

Las características químicas, están definidas por la composición elemental de los materiales, interactuando o no, de manera constantemente en la transferencia de materia entre el sustrato y la solución del medio. Entre las propiedades químicas de los sustratos destacan la capacidad de intercambio catiónico, pH, capacidad tampón, contenido de nutrimentos, relación C/N (Abad, 1993).

Las características biológicas se encuentran generalmente en los materiales orgánicos, estos son termodinámicamente inestables dado que tiende a descomponerse a causa de reacciones químicas de hidrólisis o por acción de microorganismos. Entre las propiedades biológicas destacan el contenido de materia orgánica, estado de descomposición y velocidad de descomposición (Abad, 1993).

La ventaja de los sustratos respecto al suelo, es la porosidad que puede llegar a tener, siendo más del 85% en comparación al suelo, que en ocasiones solo alcanza un 50%, esto influye directamente en el intercambio gaseoso entre el sustrato y la atmósfera. Abad (1993) menciona que de las características físicas, la oxigenación es una de las propiedades que un sustrato debe de proveer en gran medida, si se desea producir de manera intensiva bajo condiciones protegidas, esto debido a que la planta al estar en condiciones climáticas favorables, tenderá a aumentar su transpiración, manteniendo sus estomas abiertos por un periodo prolongado. Esto ocasiona que la demanda hídrica aumente, teniendo que aumentar la frecuencia de riego. Riegos constantes sobre sustratos poco oxigenados podría entorpecer la intención de producir intensivamente.

Burés (2002) menciona que en la práctica, es suficiente solo con caracterizar densidad aparente y retención de agua. La densidad aparente de un sustrato suele ser más baja que la del suelo, y es expresada en masa o peso sobre volumen, la cual se puede determinar en seco o húmedo. La retención de agua, se obtiene del drenaje de un contenedor con sustrato, llevándolo a punto de saturación, los datos que se obtienen en porcentaje son: capacidad de aire, agua de reserva, agua fácilmente disponible y agua difícilmente disponible (Burés, 2002).

2.2.4 Clasificación de los sustratos

Quintero *et al.* (2011) definen a los sustratos como; "Cualquier medio sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo que sirva de soporte para las raíces de la planta interviniendo o no en el proceso de nutrición, se considera un sustrato".

Un sustrato puede ser clasificado por diferentes criterios, como lo son según su origen, el tamaño de partícula o según su actividad química (Quintero *et al.*, 2011). Desde el punto de vista de la utilización hortícola, Urrestarazu (2004) los clasifica de acuerdo a su origen en orgánicos e inorgánicos.

Los orgánicos pueden clasificarse por su "origen natural" como lo son las turbas, estas presentan degradación a causa de la actividad biológica, caso contrario a los de "síntesis", los cuales no son biodegradables. Se obtienen mediante síntesis química; sin embargo, no dejan de ser orgánicos, un ejemplo de ellos es la espuma de poliuretano, poliestireno expandido, entre otros. Los "residuos y subproductos" de las actividades de producción y consumo, también encajan dentro de la clasificación de materiales orgánicos (Urrestarazu, 2004).

Los inorgánicos no son biodegradables y se pueden clasificar por su "origen natural", los cuales se obtienen de rocas o minerales modificados ligeramente por tratamientos físicos, como lo son la grava, arena, roca volcánica, etc. Caso contrario a los "transformados o tratados industrialmente", que de igual manera son obtenidos de rocas o minerales; sin embargo, son modificados notablemente mediante tratamientos físicos o químicos, ejemplo de ellos es la perlita, lana de roca, vermiculita y arcilla expandida. Los "residuos y subproductos industriales" se encuentran dentro de la clasificación de materiales inorgánicos, como lo son la escoria de horno alto (Urrestarazu, 2004).

2.2.5 Características de los sustratos en estudio

2.2.5.1. Tezontle rojo

La roca volcánica basáltica comúnmente llamada tezontle, es muy porosa y de colores amarillentos, rojo o también negro. Es abundante en México, de bajo costo y muy utilizada como sustrato hortícola. Es un material mineral inerte, con un pH ligeramente alcalino cercano a la neutralidad y una baja CIC (Martínez, 2011; Trejo *et al.* 2013). No obstante, las propiedades físicas como la aireación y la retención de humedad están estrechamente relacionadas al tamaño de partícula, Vargas *et al.* (2008) menciona que la aireación es menor al disminuir el tamaño de partícula y la retención de humedad aumenta, encontrando diferencia significativa en los tamaños de partícula de 0.50 mm a 4.00 mm. San Martín *et al.* (2012) demostraron que los tamaños de partículas de tezontle pueden influir en la calidad de los frutos de tomate como pH, porcentaje de jugo y firmeza. El tezontle tiende a mantener su estructura inalterada por un largo tiempo (Martínez, 2011).

2.2.5.2. Composta de corteza de pino

El uso de la corteza de pino compostada en algunos países se encuentra en recesión, ya que suele utilizarse las cortezas como combustible, provocando escases. La corteza de pino puede ser utilizada fresca, sin compostaje previo; sin embargo, con fines de estabilizar el material, eliminar componentes dañinos y brindar mejores propiedades para los cultivos, ésta se suele compostar por medio de la generación de microorganismos termófilos, los cuales a altas temperaturas degradan la celulosa por varios meses para posteriormente enfriar y proliferar con microorganismos mesófilos. El buen compostaje de la corteza de pino es primordial para evitar problemas futuros, principalmente con la inmovilización del nitrógeno. La corteza de pino después de haber sido triturada, fraccionada y fermentada, la relación C/N baja, disminuyendo la inmovilización de nitrógeno.

Muchos vendedores de sustratos utilizan la composta de pino en sus mezclas, utilizando hasta un 50%, ya que con ella se logra conseguir; un incremento en la capacidad de aireación, mejorar el drenaje en ciertos casos y puede conseguir un efecto tampón (Schmilewski, 2008; Martínez, 2011).

2.2.5.3. Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz se obtiene al separar el grano de la cáscara. Al ser un subproducto de desecho, resulta económico adquirirlo, siendo el principal gasto el transporte. Los principales atributos de la cascarilla son su baja densidad aparente y su resistencia a la degradación por su alto contenido de sílice; sin embargo, posee una baja capacidad de retención de humedad. Ante esto, puede utilizarse quemada para aumentar su retención o bien, ser utilizada en mezclas para aumentar la aireación (Quintero *et al.*, 2011; García *et al.*, 2001).

Además de carbonizada, la cascarilla puede ser tamizada con tamaños a igual o menor a 2 mm, esto para aumentar su capacidad de retención de humedad, ante todo, el uso más recomendable sigue siendo en mezclas para mejorar sustratos con déficit de oxigenación (Martínez, 2011).

Con un pH casi neutro, la cascarilla de arroz también puede aportar fósforo, potasio, calcio y magnesio, pero sobre todo manganeso. Sin embargo, estos nutrientes resultan ser niveles muy bajos como para tomarlos en cuenta en la nutrición del cultivo, debido a las pequeñas cantidades de cascarilla utilizadas en las mezclas (Martínez, 2011).

2.2.5.4 Fibra de coco

Compuestas de lignina y celulosa, las fibras utilizadas como sustrato la conforman fibras largas y cortas, las cuales provienen del mesocarpo del cocotero (*Cocos*

nucifera). Esta diferencia de tamaños resulta ser un problema ya que dificulta el manejo del cultivo. Es un subproducto orgánico proveniente de la industria cocotera, siendo los principales países productores; Sri Lanka, India, Filipinas, Costa de Marfil y México. Las fibras de coco no sufren contracciones o expansiones como la turba, lo cual beneficia en gran medida a la buena oxigenación del sustrato, además de aportar una gran cantidad de agua fácilmente disponible. El alto contenido de lignina hace que esta se descomponga a un ritmo lento, pudiendo ser utilizada durante varios ciclos (Martínez, 2011).

Este sustrato es cada vez más aceptado en los cultivos hortícolas y ornamentales, debido a su baja densidad aparente, lenta degradación y alta capacidad de retención de humedad. Sin embargo, previo a su utilización es necesario realizar lavados para reducir su C.E. que oscila entre 1 y 6 dS·m⁻¹ provocada principalmente por NaCl (Quintero et al., 2011; Schmilewski, 2008).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

El estudio se llevó a cabo en un invernadero tipo semitúnel con ventilación cenital y lateral, sin control climático y cubierta de plástico, localizado en la Unidad Académica de Agricultura, a 21° 25' latitud Norte y 104° 53' longitud Oeste en Xalisco, Nayarit.

3.2 Material vegetal

El material vegetativo utilizado fue el cv. Biloxi propagadas *in vitro*, de un año de edad en recipientes de bolsas de plástico con capacidad de un litro de sustrato. Las plantas contaban con presencia de flor y fruto al momento de establecer el experimento y fueron adquiridas en la empresa Viveros Toluquilla en Tlaquepaque, Jalisco.

3.3 Establecimiento del experimento

La superficie del suelo del interior del invernadero, se limpió y niveló, para posteriormente colocar una cubierta protectora en el suelo "Ground Cover" para el control de malezas. Se utilizaron bolsas negras como recipientes hidropónicos con capacidad de 15 L, con resistencia a rayos UV. Las bolsas se llenaron con el sustrato correspondiente. Las plantas se establecieron a una distancia entre hileras de 2.0 m y 0.5 m entre planta, sobre bloques de cemento, con una densidad de 10,000 plantas ha⁻¹.

El sistema de riego consistió de un recipiente de plástico con capacidad de 1100 litros, bomba de ½ HP, manguera negra de 16 mm y goteros de 8 LPH con distribuidor doble y tubin de 5/3", colocando dos goteros por planta.

3.3 Solución nutritiva

Se utilizó la solución universal Steiner (Steiner, 1984) cuya composición original en la concentración de nitratos fue modificada con 15 meq L⁻¹ de N, utilizando 75% en forma de N-NO₃⁻ y un 25% de N-NH₄⁺ (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición química de la solución universal de Steiner (Steiner 1961) modificada con la inclusión del ion amonio

meq L ⁻¹						
NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
11.25	1.08	7.64	5.68	7.48	3.24	3.75

Para la preparación de la solución nutritiva se consideró el aporte nutrimental del agua de riego. Los fertilizantes utilizados fueron de grado fertirriego como fuentes de nutrimentos. El ajuste del pH a 4.5 ± 0.1 se realizó con ácido sulfúrico 1N. Como fuente de micronutrientes se utilizaron 30 g m⁻³ de ULTRASOL Micro Mix®, de la compañía SQM (Cuadro 2).

Cuadro 2. Riqueza porcentual de ULTRASOL Micro Mix®

%					
Fe- EDTA	Mn- EDTA	B	Zn- EDTA	Cu-EDTA	Mo
7.5	3.7	0.4	0.6	0.3	0.2

3.4 Caracterización de sustratos

Las mezclas realizadas se enviaron a analizar al laboratorio de análisis agrícolas Fertilab®, utilizando un volumen de 10 litros de cada una de las mezclas realizadas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Curva de liberación de agua en los sustratos utilizados en el experimento

Tratamientos	EPT (%)	CA (%)	AFD (%)	AR (%)	ATD (%)	CRA (mL/L)	ADD (%)
1 Tezontle	46.79	15.42	19.34	2.33	21.67	313.74	9.7
2 Tezontle/Estopa de coco	62.22	32.21	15.47	1.28	16.75	300.14	13.26
3 Composta/Cascarilla de arroz	77.53	22.52	27.14	1.41	28.55	550.10	26.46
4 Composta/Estopa de coco	83.47	30.84	16.56	4.22	20.78	526.27	31.84

EPT= Espacio Poroso Total; CA= Capacidad de aireación; AFD= Agua Fácilmente Disponible; AR= Agua de Reserva; ATD= Agua Totalmente Disponible; CRA= Capacidad de retención de agua; ADD= Agua Difícilmente Disponible. T= Tezontle; TC= Tezontle/Fibra de coco (80/20); CA= Composta/ Cascarilla arroz (70/30); CC=Fibra de coco/Composta (60/40).

3.5 Riego

La programación del riego se realizó con un temporizador digital SKU modelo 458148, estableciendo riegos de un minuto cada hora, dando un total de siete riegos por día, con un gasto real de 100 ml por gotero, en los primeros meses posteriores al establecimiento. En etapa de mayor demanda, la programación cambio a riegos de un minuto cada media hora, aumentando a un total de 15 riegos por día.

3.6 Poda y tutorado

Una semana posterior al establecimiento del cultivo, se podaron las flores y frutos presentes. A los cuatro meses del establecimiento, los tallos fueron podados a una altura de 30 cm.

En cada una de las podas se utilizó tijeras horticolas, las cuales fueron desinfectadas con alcohol y fuego, además de sellar las heridas con pasta a base de agua, oxiclورو de cobre y cal.

El tutoreo utilizado fue de tipo espaldera con postes en forma "T", utilizando rafia blanca como líneas de soporte.

3.7 Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron cuatro tratamientos: 1) Composta de pino y cascarilla de arroz (70:30); 2) Tezontle y fibra de coco (80:20); 3) Fibra de coco y composta de pino (60:40) y 4) Tezontle con granulometría de 6 mm a fino, tomándose como testigo (Cuadro 4).

Los tratamientos se establecieron en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento. Cada repetición constó de seis plantas en competencia completa.

Cuadro 4. Tratamientos

%			
70/30	60/40	80/20	100
Composta de pino/ Cascarilla de arroz	Fibra de coco/ Composta de pino	Tezontle / Fibra de coco	Tezontle

3.8 Variables

3.8.1. Consumo diario de agua en etapa de floración fructificación en el intervalo de 240 – 247 días después de trasplante

En etapa de floración se regó manualmente durante un periodo de 7 días consecutivos. El registro del gasto de la solución nutritiva se realizó en 5 macetas por tratamiento, regando en base a la demanda hídrica de cada maceta. Para esto, se definió un drenaje fijo de 400 ml por maceta por día. De igual manera, cada riego manual consistió de un volumen fijo de 100 ml. El número de riegos manuales se fueron ajustando para cada maceta, dejando de regar al momento de obtener el drenaje fijo de 400 ml. De esta manera se pudo obtener el volumen necesario para cada maceta y para cada tratamiento por día.

El drenaje fue captado con charolas y parrillas para cada una de las macetas seleccionadas, depositando el percolado en un envase cerrado para evitar la evaporación.

3.8.2. Conductividad Eléctrica (CE) y pH en la solución drenada

Se realizaron mediciones diarias de CE y pH durante los siete días de riegos manuales, sobre una muestra representativa de 50 ml, tomados de los 400 ml drenados de cada maceta. El equipo utilizado fue un medidor de CE marca HORIBA, el cual expresó la concentración de la salinidad en $\mu\text{S/cm}$. Para el caso del pH se utilizó un medidor portátil marca Horiba, previamente calibrado a pH 7.0.

3.8.3. Consumo relativo diario de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ en etapa de floración fructificación durante el intervalo de 240 – 247 días después del trasplante

Para la obtención del consumo total de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ se realizaron mediciones diarias durante los siete días de riegos manuales, sobre una muestra representativa de 50 ml, tomados de los 400 ml drenados de cada maceta. El equipo utilizado fue un ionómetro de la marca HORIBA, el cual expresó la concentración de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ en mg L^{-1} . El gasto total de los iones por tratamiento se expresó en mg por planta, el cual se obtuvo de la siguiente manera;

$$\text{CRD} = (\text{Vi} * \text{Ci}) - (\text{Vs} * \text{Cs})$$

CRD = Consumo Relativo Diario del ión por planta por día (mg planta^{-1})

Vi = Volumen inicial (L)

Ci = Concentración inicial (mg L^{-1})

Vs = Volumen de salida (L)

Cs = Concentración de salida (mg L^{-1})

3.8.4. Diámetro y altura de tallos

La medición del diámetro de tallo se realizó en etapa de floración y fructificación con un Vernier, a 10 cm de altura, a partir de la base del tallo. La variable fue medida en una planta por repetición, dando un total de cinco plantas por tratamiento, eligiendo los tallos más representativos en cuanto a vigor (3 tallos por planta). De la misma manera, la altura se midió con una cinta métrica desde la base del tallo hasta el ápice de la última hoja, eligiendo el tallo de mayor vigor.

3.8.5. Concentración nutrimental de N, P, K, Ca y Mg en tejido foliar

Se recolectaron 30 hojas por tratamiento en la etapa de floración y fructificación, siendo tomadas las hojas recientemente maduras a $\frac{3}{4}$ de la altura total de planta. Se lavaron con agua destilada y fueron secadas en estufa con circulación de aire forzado durante 48 horas, para posteriormente realizar la molienda y pesado. Para las determinaciones analíticas se utilizaron 0.5 g por repetición de muestras de hojas. Se cuantificó la concentración de nitrógeno total por método de Kjeldahl. Fósforo por colorimetría, potasio por flamometría de llama y calcio y magnesio por espectrofotometría de absorción atómica.

3.8.6. Producción acumulada de fruto

La cosecha de fruto se realizó de manera manual. El fruto recolectado de cada planta fue colocado en bolsas de papel de un kg de capacidad. Una vez cosechado los cuatro tratamientos, se pesó el contenido de cada bolsa en una balanza digital. La cosecha se realizó cada 10 días, iniciando el día 30 de enero del año 2018 y concluyendo el día 2 de junio del 2018.

3.8.7. pH de fruto

El pH se determinó en una muestra de 100 gramos de fruto por corte. La molienda de los frutos se realizó con un triturador NUTRIBULLET®. La acidez de la pulpa se determinó con un medidor de pH, marca HORIBA modelo LAQUATWIN. El pH de la pulpa se determinó con tres repeticiones en cada cosecha.

3.8.8. Sólidos solubles totales de fruto

La concentración de sólidos solubles totales se cuantificó en los mismos 100 gramos de los frutos triturados para medir la variable de pH. Se utilizó un Refractómetro Digital de bolsillo 0-53% brix, marca Atago, modelo PAL-1.

3.8.9. Tamaño de fruto

Una vez cosechados los frutos, se separaron por tamaños mediante tres cribas. Una criba con orificios de 10 mm de ancho, la segunda con 12 mm de ancho, y la tercera con 16 mm de anchura. Con las tres cribas se pudieron determinar 4 tamaños de fruto, muy pequeño (<10 mm), pequeño (>10 mm), mediano (>12 mm) y grande (>16 mm). El fruto cosechado fue cribado, para posteriormente realizar el pesaje de cada uno de los calibres separados en una balanza digital.

3.8.10. Firmeza

El equipo utilizado para medir firmeza fue un medidor de fuerza digital modelo HP-50. La unidad expresada por el equipo fue en Newton, el cual se midió por deformación de la superficie con un puntal plano de un cm, sobre el área ecuatorial del fruto, siendo un total de cien repeticiones por tratamiento. Los frutos recolectados para la variable se encontraban en igualdad de madurez.

3.9. Análisis estadístico

Los resultados de las variables respuesta se sometieron a un análisis de varianza y prueba de medias Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS® (Statistical Analysis System).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Consumo de agua diario durante la etapa de floración fructificación

El análisis de varianza mostró una diferencia altamente significativa para la variable Consumo diario de agua en los días 1, 2, 4, 5 y 7, durante el intervalo de 240 a 247 días después de trasplante en la etapa de floración-fructificación (Cuadro 5). La prueba de comparación múltiple de medias por Tukey (0.05) identificó al tratamiento de composta y cascarilla de arroz como el de mayor consumo de agua, seguido por el tratamiento de composta y fibra de coco. El menor consumo de agua se obtuvo en el sustrato tezontle (Cuadro 5).

Cuadro 5. Consumo de agua durante un periodo de siete días continuos en etapa de floración fructificación durante el intervalo de 240 a 247 días después del establecimiento del cultivo de arándano cv. Biloxi.

Tratamientos	Consumo de agua (ml)						
	Día	Día	Día	Día	Día	Día	Día
	1	2	3	4	5	6	7
1 Tezontle	780 b	680 c	820 a	900 c	800 b	2220 a	900 b
2 Tezontle/Estopa de coco	900 b	800 bc	940 a	1080 bc	820 b	920 a	920 b
3 Composta/Cascarilla de arroz	1140 a	1000 a	1140 a	1380 a	1160 a	1220 a	1280 a
4 Composta/Estopa de coco	1240 a	900 ab	2620 a	1220 ab	1000ab	1140 a	1220 a
Pr > F	0.0001**	0.0001**	0.37 ^{NS}	0.0004**	0.002**	0.605 ^{NS}	0.0007**
D.M.S.	187	134	3236	249	247	2939	257
C.V.	10.2	8.7	129	12	14.4	118	13.1

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

En orden descendente, la demanda hídrica total de los cuatro tratamientos en los 7 días fue la siguiente: T3= 41.6 L; T4= 38.6 L; T2= 31.9 L; T1= 28.3 L.

La planta de arándano posee un sistema radicular con raíces finas y fibrosas, las cuales carecen de pelos radicales, ocasionando en la especie una baja capacidad de absorción. Los suelos que lo favorecen son los sueltos y bien drenados, debido a su incapacidad de atravesar superficies compactadas (Undurraga y Vargas, 2013).

Las propiedades físicas están presentes en todo sustrato utilizado bajo contenedor, las cuales deberán ser las más óptimas para el cultivar. La relación agua-aire se encuentra dentro de las propiedades físicas más importantes, las cuales el sustrato en uso deberá tener disponible en las proporciones adecuadas para brindar un óptimo crecimiento de la planta (Vence, 2008).

En este sentido se favoreció el consumo de agua en los sustratos que tuvieron mayor capacidad de retención de agua (Composta + cascarilla de arroz y Composta + estopa de coco).

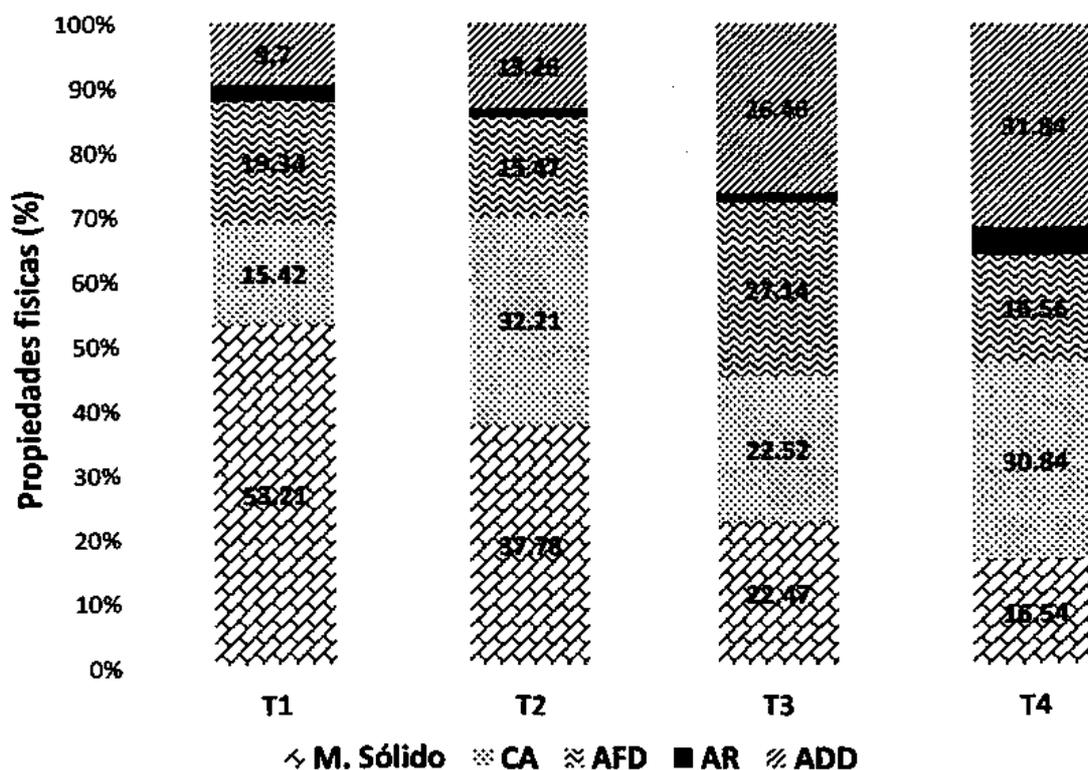


Figura 1. Curva de liberación de agua

CA= Capacidad de aireación; AFD= Agua Fácilmente Disponible; AR= Agua de Reserva; ADD= Agua Dificilmente Disponible. T1= Tezontle; T2= Tezontle/Fibra de coco (80/20); T3= Composta/ Cascarilla arroz (70/30); T4=Fibra de coco/Composta (60/40).

Ansorena (1994) menciona que los valores óptimos de capacidad de aireación se encuentran entre 10 -30%.

Soto (1993) encontró que las mezclas de sustratos con mayor porosidad, mayor oxigenación y mayor humedad constante, fueron las que generaron un mejor desarrollo radical.

Los resultados concuerdan con Ansorena (1994) y Soto (1993), donde los tratamientos de compostas (T3 y T4) tuvieron un mayor consumo de agua, siendo entre éstos dos, el tratamiento T3 superior al T4, debido a una relación más óptima de agua-aire.

La importancia de una buena aireación para el cultivo de arándano se confirma en los tratamientos de tezontle, donde el T1 proporcionó mayor disponibilidad de agua pero una menor oxigenación, influyendo en un consumo menor de agua en comparación al T2, el cual con menor disponibilidad de agua pero una mayor oxigenación, logró tener mejores condiciones de absorción de agua para la planta de arándano.

4.2. Conductividad eléctrica (CE) y pH de la solución drenada en la etapa de floración-fructificación durante el intervalo de 240 – 247 días después del trasplante

4.2.1 Conductividad eléctrica

De acuerdo al análisis de varianza, la conductividad eléctrica no tuvo diferencias significativas en los cuatro tratamientos a lo largo de los 7 días regados (Cuadro 6). De igual manera la prueba de medias con Tukey ($\alpha = 0.05$) agrupó a todos los tratamientos en un solo grupo a lo largo de los siete días, indicando igualdad estadística entre tratamientos.

Cuadro 6. Conductividad eléctrica (CE) del percolado durante un periodo de siete días en la etapa de floración-fructificación en el intervalo de 240 – 247 días después del trasplante

Tratamientos	CE del percolado ($\mu\text{S}/\text{cm}$)						
	Día	Día	Día	Día	Día	Día	Día
	1	2	3	4	5	6	7
1 Tezontle	780	808	813	852	900	995	1023
2 Tezontle/Estopa de coco	833	861	884	962	978	1056	1028
3 Composta/Cascarilla de arroz	767	830	864	953	940	992	1000
4 Composta/Estopa de coco	861	908	967	1006	1039	1118	1100
Pr> F	0.432 ^{NS}	0.561 ^{NS}	0.464 ^{NS}	0.566 ^{NS}	0.634 ^{NS}	0.651 ^{NS}	0.783 ^{NS}
D.M.S.	185	208	271	304	310	329	302
C.V.	12.13	12.99	16.27	17.09	17.05	16.80	15.49

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

El aumento de la conductividad eléctrica tiene repercusiones en la producción de arándano. Se considera que con valores superiores a $1000 \mu\text{S}/\text{cm}^3$ en la solución nutritiva, se pueden presentar problemas de estrés hídrico en cultivares de arándano, disminuyendo el rendimiento por planta (Hernández 2014). Además de una disminución en la producción, la concentración de sales en exceso también disminuye el calibre del fruto, afectando seriamente los gramos por fruto, y en consecuencia las toneladas por hectárea (Mingeau *et al.*, 2001).

Si bien durante el experimento no se presentó una acumulación de sales perjudicial para la planta de arándano, como medida precautoria se recomienda realizar monitoreos periódicos de la CE de la solución drenada para prevenir alzas en las concentraciones de sales.

4.2.2 pH en solución drenada

Mediante el análisis de varianza se determinó que en los siete días del muestreo, se presentó una diferencia altamente significativa entre tratamientos (Cuadro 7). Mediante la prueba Tukey ($\alpha=0.05$) se identificaron dos grupos a lo largo de los siete días. El primero se conformó por los tratamientos de compostas y el segundo por aquellos cuya composición incluyó tezontle (Cuadro 7).

Cuadro 7. pH del percolado en un periodo de siete días continuos

Tratamientos	pH						
	Día						
	1	2	3	4	5	6	7
1 Tezontle	4.6 b	4.6 b	4.8 b	4.5 b	4.7 b	4.8 b	4.8 b
2 Tezontle/Estopa de coco	4.7 b	4.7 b	4.9 b	4.7 b	4.8 b	5.0 b	5.0 b
3 Composta/Cascarilla de arroz	6.2 a	6.1 a	6.0 a	6.1 a	6.1 a	6.1 a	6.0 a
4 Composta/Estopa de coco	6.0 a	5.9 a					
Pr> F	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**
D.M.S.	0.46	0.41	0.41	0.37	0.32	0.28	0.28
C.V.	4.75	4.21	4.19	3.83	3.29	2.86	2.90

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Las plantas en su rizósfera tienen una interacción catión/anión equilibrada. Se estima que el 70 a 80% de los cationes y aniones tomados por la raíz de la solución del suelo o sustrato son de NO_3^- y NH_4^+ (Dickson *et al.*, 2016). El pH de la rizósfera está íntimamente ligado al tipo de fuente de N aportado. La planta al tomar iones NH_4^+ expulsa un ion H^+ , el cual acidifica el medio, caso contrario

ocurre con el NO_3^- , que este al ser consumido, libera una molécula de OH^- , el cual tendrá un efecto alcalinizante en la solución (Dickson *et al.*, 2017).

La preferencia de la planta de arándano por los nitratos o amonio no parece quedar claro. Townsend (1970) menciona que tanto las especies de arándano bajo "Lowbush" como los arándanos altos "Highbush" tienen una preferencia por el NH_4^+ para su fuente de N, debido a su lugar de origen, donde los suelos son ácidos y predomina el NH_4^+ . Por otro lado, Crisóstomo *et al.*, (2014) en su experimentación con relaciones amonio/nitrato en el cultivo de arándano, encontró un mayor desarrollo vegetativo en los tratamiento de 100 % NO_3^- .

4.3. Consumo relativo diario de NO_3^- , Ca y K en etapa de floración fructificación durante el intervalo de 240 – 247 días después del trasplante

En la variable consumo relativo de **nitratos**, existieron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 8). Mediante la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) se identificaron tres grupos para el consumo relativo diario de nutrientes, donde el tratamiento de composta con cascarilla de arroz se mostró superior en tanto a consumo de nitratos, seguido por el tratamiento de composta con fibra de coco. Los tratamientos de tezontle fueron estadísticamente iguales, y fueron donde se presentó menor consumo de nitratos por las plantas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Consumo relativo diario de NO₃⁻ en la etapa de floración fructificación en arándano cv. Biloxi

Tratamientos	Consumo de NO ₃ ⁻ (mg/planta/día)
1 Tezontle	47.4 b ± 17.3
2 Tezontle/Estopa de coco	50.9 b ± 21.1
3 Composta/Cascarilla de arroz	99.3 a ± 18.1
4 Composta/Estopa de coco	72.6 ab ± 28.7
Pr > F	0.018*
D.M.S.	45.80
C.V.	37.44

Los valores ± representan el error estándar.

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, α = 0.05).

La naturaleza de cada uno de los sustratos, inorgánicos u orgánicos parece estar implicada en el comportamiento de consumo de nitrato y amonio. El proceso de descomposición de los sustratos orgánicos es un proceso natural que continúa su curso a través del tiempo. Un sustrato estable, deberá tener su relación C/N lo más bajo posible para evitar la inmovilización del nitrógeno a causa de los microorganismos presentes en la materia orgánica (Vence, 2008). Moreno *et al.*, (2014) indica parámetros óptimos de relación C/N de 20 a 40; sin embargo, estos valores pueden llegar a provocar problemas en las compostas de corteza de pino, como lo son pérdida de estructura en el sustrato a causa de la mineralización, valores óptimos para la relación C/N en estos materiales ronda en los 50-60. La composta de corteza de pino empleada en los tratamientos tiene valores de C/N

de 79.7, esto puede generar por parte de microorganismos heterótrofos una inmovilización del NH_4^+ , y en consecuencia alcalinizar el medio a causa de un consumo único de NO_3 por parte de la planta.

En el mismo contexto, Deya, (1994) argumenta que la nitrificación se encuentra presente en los materiales orgánicos, donde las bacterias del género nitrosomas, los cuales con microorganismos autótrofos, se relacionan con los procesos de oxidación, convirtiendo el amonio en nitratos. Este hecho, podría explicar el aumento de pH en las mezclas con composta de corteza de pino, donde las bacterias al estar nitrificando el NH_4^+ suministrado por la solución nutritiva y oxidarlo a NO_3^- , origina una condición de mayor concentración de nitrato en el medio y por consiguiente a que la planta consuma más este anión, a causa de una disminución en la concentración de amonio.

4.4.1. Consumo relativo diario de Ca y K en etapa de floración fructificación durante el intervalo de 240 – 247 días después del trasplante

El análisis de varianza muestra una diferencia altamente significativa de consumo de calcio por tratamientos (Cuadro 9). De acuerdo a la comparación de medias por Tukey (0.05), se creó un grupo por cada tratamiento, siendo el de composta con cascarilla de arroz el de mayor consumo, seguido por el de composta y fibra de coco. El tercer grupo lo conformo tezontle con fibra de coco y el cuarto grupo el tratamiento de tezontle (Cuadro 9).

Cuadro 9. Consumo relativo diario de Ca en la etapa de floración-fructificación en arándano cv Biloxi

Tratamientos	Consumo de Ca (mg/planta/día)
1 Tezontle	101.6 c ± 13.3
2 Tezontle/Estopa de coco	115.1 bc ± 18.8
3 Composta/Cascarilla de arroz	159.7 a ± 17.6
4 Composta/Estopa de coco	146.9 ab ± 22.1
Pr> F	0.0013**
D.M.S.	37.59
C.V.	15.87

Los valores ± representan el error estándar.

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey , $\alpha = 0.05$).

Para el consumo relativo de potasio, el análisis de varianza muestra una diferencia altamente significativa de consumo entre tratamientos (Cuadro 10). Mediante la prueba de Tukey (0.05), se identificaron tres grupos, donde el tratamiento de mayor consumo de potasio fue el de composta con cascarilla de arroz, seguido por el tratamiento de composta y fibra de coco. Los tratamientos de tezontle ocuparon el tercer grupo, siendo los de menos consumo del nutrimento (Cuadro 10).

Cuadro 10. Consumo relativo diario de K en la etapa de floración-fructificación en arándano cv Biloxi

Tratamientos	Consumo de K (mg/planta/día)
1 Tezontle	94.6 b ± 12.9
2 Tezontle/Estopa de coco	103.7 b ± 18.1
3 Composta/Cascarilla de arroz	141.8 a ± 20.0
4 Composta/Estopa de coco	117.8 ab ± 22.8
Pr> F	0.0003**
D.M.S.	24.48
C.V.	11.81

Los valores ± representan el error estándar.

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Los nutrientes calcio y potasio están relacionados con la calidad del fruto de arándano, que se manifiesta en la concentración de azúcares (°Brix), firmeza, sanidad y vida postcosecha (Hirzel, 2017; Luchsinger *et al.*, 2006). A pesar de que los tratamientos de compostas fueron los de mayor consumo de calcio y potasio, estos no se vieron reflejados en grados °Brix, ni en mayor firmeza de los frutos.

Las plantas con mayor altura se presentaron en los tratamientos de compostas. Hirzel (2017) apunta que desbalances nutricionales en el aporte de N y Ca pueden provocar un estado de exceso de vigor en la planta. Los tratamientos de compostas, además de ser superiores en consumo de Ca y K, también fueron superiores en el consumo de NO₃⁻, por lo que se presume que el exceso de vigor pudo ser desencadenado primeramente por la fuente de N que la planta estuvo consumiendo.

4.5. Diámetro y altura de tallos en etapa de floración y fructificación

El diámetro y altura de tallo en etapa de floración tuvieron diferencias altamente significativas (Cuadro 11) en los tratamientos evaluados. En ambas variables, la prueba de comparación de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) identificó al tezontle como estadísticamente inferior a los demás sustratos en evaluación (Cuadro 11).

Cuadro 11. Diámetro y altura de tallos en etapa de floración de arándano cv Biloxi

Tratamientos	Diámetro de tallo (mm)	Altura de tallo (cm)
1 Tezontle	6.6 b	102.2 b
2 Tezontle/Estopa de coco	8.44 a	122.8 a
3 Composta/Cascarilla de arroz	7.88 a	124 a
4 Composta/Estopa de coco	7.8 a	132 a
Pr> F	0.0020**	0.0027**
D.M.S.	1.12	19.05
C.V.	8.06	8.75

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) se identificaron dos grupos en la variable de diámetro de tallo, donde los tratamientos con fibra de coco (tezontle/estopa de coco, composta/estopa de coco) fueron superiores, mientras que el tratamiento de composta con cascarilla de arroz se mostró ligeramente inferior a los antes mencionados. En el tratamiento de tezontle se tuvo el menor diámetro de tallo (Cuadro 12). El sustrato de composta con fibra de coco promovió la mayor altura, mientras que en el tratamiento con tezontle, las plantas fueron de menor altura con

diferencias significativas entre ambos tratamientos (Tukey, $\alpha = 0.05$). Los tratamientos de tezontle con fibra de coco y composta con cascarilla de arroz se mostraron estadísticamente iguales (Cuadro 12).

Cuadro 12. Diámetro y altura de tallos en etapa de fructificación en arándano cv Biloxi

Tratamientos	Diámetro de tallo (mm)	Altura de tallo (cm)
1 Tezontle	7.46 b	109.40 b
2 Tezontle/Estopa de coco	10.10 a	125.20 ab
3 Composta/Cascarilla de arroz	8.88 ab	133.60 ab
4 Composta/Estopa de coco	9.22 a	137.0 a
Pr> F	0.003**	0.04*
D.M.S.	1.67	26.7
C.V.	10.40	11.69

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Las variaciones en el crecimiento vegetativo estuvieron influenciadas por las condiciones físicas y químicas de los sustratos. Valenzuela (2014) en su experimento con sustratos encontró que una capacidad de retención de agua (CRA) entre 42 y 49% y una proporción de poros con aire de 39 a 49%, la variedad Biloxi generó un mayor desarrollo vegetativo, demostrando que la relación agua/aire juega un papel fundamental en el óptimo crecimiento de esta especie. De igual manera, los tratamientos en experimentación (CC, CA y TC) lograron mayores alturas en sus tallos, y el tratamiento de tezontle (T) con una menor capacidad de retención de agua y aire, logró menor elongación en sus

tallos (Figura 2). Sin embargo, entre estos tres tratamientos superiores los cuales tuvieron buena relación agua/aire, también se encontraron diferencias en altura, atribuyendo los resultados a las propiedades químicas. Las compostas fueron los tratamientos superiores, el cual es atribuible al efecto del pH y la posible fuente de N tomada por la planta. Esto se relaciona con los resultados obtenidos por Crisóstomo (2014), donde los tratamientos con un pH de 5 y con una fuente de N de 100% de NO_3^- tuvo mayor altura que los fertilizados con $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$.

El mayor grosor de tallo de las plantas de arándano se obtuvo en el tratamiento de tezontle con fibra de coco (TC). Esta diferencia en grosor es atribuible al consumo de nitrato y amonio por parte de la planta. Carlos (2018) utilizó diferentes fuentes de N y encontró que el tratamiento con 100% de amonio, tuvo un mayor diámetro en comparación a las de nitrato/amonio en arándano variedad Misty.

Además, las diferencias estadísticas de diámetro de tallo y altura, fueron muy similares tanto en floración como en fructificación, esto deja claro que cada uno de los sustratos brindó condiciones de crecimiento estables y definidas a lo largo del ciclo de crecimiento.

4.6. Concentración nutrimental foliar en etapa de floración y fructificación

El análisis de varianza para la concentración foliar de fósforo y calcio no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos, mientras que la concentración de nitrógeno si varió significativamente; en el caso de potasio y magnesio las diferencias fueron altamente significativas (Cuadro 13).

La concentración foliar de nitrógeno se mantuvo sin variación significativa en las plantas de arándano cultivadas en sustrato tezontle, tezontle/estopa de coco y composta/cascarilla de arroz. En el Cuadro 13, se observa que la menor concentración foliar de N se encontró en el sustrato tezontle y la mayor concentración en el tratamiento composta/estopa de coco, con diferencias

significativas entre ambos (Tukey, $\alpha = 0.05$). La concentración foliar de K fue menor en el sustrato tezontle, con diferencias estadísticas respecto a los demás tratamientos.

Las concentraciones de P y Ca se mantuvieron sin variación significativa entre los tratamientos de sustratos (Cuadro 13). En el caso de Mg, la concentración foliar fue similar en tezontle y composta/estopa de coco, mientras que en el sustrato a base de composta/cascarilla de arroz se obtuvo la máxima concentración de este nutriente con diferencias significativas comparado con los demás tratamientos. La menor concentración foliar de Mg se encontró en el tratamiento de tezontle/estopa de coco (Cuadro 13).

Cuadro 13. Concentración nutrimental foliar en etapa de floración en arándano cv. Biloxi

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
1 Tezontle	1.29 b	0.15 ^a	0.52 ^a	1.22a	0.18b
2 Tezontle/ Estopa de coco	1.43ab	0.16 ^a	0.46 b	1.34a	0.17c
3 Composta/ Cascarilla de arroz	1.65ab	0.15 ^a	0.45 b	1.53a	0.21 ^a
4 Composta/ Estopa de coco	1.73 a	0.17 ^a	0.49 b	1.35a	0.18b
Pr >F	0.024 *	0.901 ^{NS}	0.001**	0.92 ^{NS}	0.0001**
D.M.S.	0.40	0.07	0.04	1.34	0.007
C.V.	14.71	23.68	4.96	54.47	2.21

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

El K⁺ juega un papel importante en la osmorregulación celular, en donde una alta concentración foliar de K⁺ beneficia a la rápida apertura y cierre de estomas. El agua está implicada en el transporte de nutrientes y en la turgencia celular que propicia el crecimiento del tejido, por lo que un bajo flujo de la misma limitará estos

procesos (Loyla, 2006). Esto podría explicar el hecho de que el Tratamiento 1 (tezontle) tuvo un menor desarrollo vegetativo y una alta concentración de K^+ en etapa de floración, debido a una mayor actividad de cierre y apertura estomática provocada por posibles cuadros de estrés a causa de un bajo flujo de savia a través de los haces vasculares.

En la etapa de fructificación, las concentraciones nutrimentales foliares de N, P, K y Ca, no variaron de manera significativa entre los tratamientos de sustratos, solo para el caso de Mg (Cuadro 14). En los sustratos a base de composta de corteza pino, mezclado con cascarilla de arroz y estopa de coco, se obtuvieron las más altas concentraciones foliares de magnesio, con diferencias estadísticas con respecto a los tratamientos a base de tezontle solo o combinado con estopa de coco (Cuadro 14). Las mayores concentraciones foliares en los sustratos a base de composta de corteza de pino, pudiera tener su base en el hecho de que este material, tuvo un proceso de mineralización, lo cual dio lugar a una mayor concentración de Mg^{2+} en el sustrato y por consiguiente, promovió mayor absorción de este nutriente por las plantas de arándano.

Cuadro 14. Concentraciones nutrimentales foliares en arándano en la etapa de fructificación, cultivado en diferentes sustratos hidropónicos.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
1 Tezontle	1.30 a	0.20 a	0.90 a	0.94 a	0.12 b
2 Tezontle/ estopa de coco	1.27 a	0.20 a	0.98 a	0.94 a	0.12 b
3 Composta/cascarilla arroz	1.24 a	0.20 a	0.89 a	0.97 a	0.16 ab
4 Composta/ estopa de coco	1.23 a	0.19 a	0.89 a	0.88 a	0.16 ab
Pr>F	0.80 ^{NS}	0.76 ^{NS}	0.43 ^{NS}	0.43 ^{NS}	0.006 ^{**}
D.M.S	0.19	0.06	0.13	0.18	0.034
C.V	10.10	9.22	10.32	9.42	12.99
R ²	0.05	0.06	0.15	0.15	0.53

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

El pH ácido de los suelos de donde el arándano es nativo, ha obligado a la especie a demandar valores inferiores de nutrimento en comparación a otras especies; sin embargo, las deficiencias y toxicidades también estarán presentes, por ello mantener a la planta en una suficiencia nutrimental es fundamental para el rendimiento (Hanson y Hancock, 1996).

No obstante, la concentración nutrimental foliar varía entre especies de arándano, y entre variedades de la misma especie. Rivaneira (2012) encontró variaciones en las concentraciones foliares entre las variedades Misty, Jewel y Emeraldde, todas ellas pertenecientes a la misma especie *Vaccinium corymbosum* L.

Si bien Hanson y Hancock (1996) no describe la especie utilizada para determinar las concentraciones nutrimentales óptimas de N, P, K, Ca y Mg, las concentraciones nutrimentales foliares promedio encontradas por Hernández, (2014) en variedad Biloxi corresponden en gran medida a las descritas por Hanson

y Hancock (1996) (Cuadro 15). De este modo, al coincidir en variedades se puede realizar una comparativa de resultados con mayor certidumbre, como es el caso de la presente investigación.

Cuadro 15. Concentraciones nutrimentales foliares en arándano en un intervalo adecuado o de suficiencia durante la etapa de fructificación (Hanson y Hancock, 1996).

Nutriente	Concentración nutrimental (Hanson y Hancock, 1996)	Concentración nutrimental (Hernández, 2014)
	(%)	(%)
N	1.7 - 2.1	1.5
P	0.08 - 0.4	0.19
K	0.4 - 0.65	0.59
Ca	0.3 - 0.8	0.46
Mg	0.15 - 0.3	0.26

De acuerdo con el Cuadro 15, en las concentraciones foliares determinadas en etapa de floración en los diferentes tratamientos de sustratos, el N mostró diferencias estadísticas significativas, en cambio K y Mg tuvieron diferencias altamente significativas entre tratamientos. Dentro de los intervalos de concentración que definen deficiencias, suficiencias y excesos nutrimentales descritos por Hanson y Hancock (1996), en todos los tratamientos, los diferentes nutrientes se ubicaron de la siguiente manera: N Deficiente; P Suficiente; K Suficiente; Ca Exceso; Mg Suficiente.

En etapa de fructificación, las concentraciones foliares de N siguieron siendo deficientes; sin embargo, disminuyó su concentración; el único nutriente que mostró diferencias estadísticas significativas y que a la vez mostró deficiencias y suficiencias entre tratamientos fue Mg, donde los tratamientos 1 y 2 mostraron deficiencias y los tratamientos 3 y 4 mostraron suficiencia. La concentración de P

se ubicó en el intervalo de suficiencia en todos los tratamientos; sin embargo, hubo un incremento en la concentración nutrimental de floración a fructificación. El K se ubicó en exceso y con un incremento en su concentración durante la etapa de fructificación; sin embargo, Calcio, aunque con excesos en ambas etapas de floración y fructificación, tuvo un decremento en su concentración de la etapa de floración a fructificación. Las reducciones en concentraciones foliares de floración a fructificación se presentaron en nitrógeno, calcio y magnesio. En cambio, en fósforo y potasio existió un aumento de la concentración.

De acuerdo a las suficiencias de N foliar (1.7 - 2.1 %) descritas por Hanson y Hancock (1996), todos los tratamientos se mostraron deficientes en N 1.23 – 1.65 %, excepto por composta y fibra de coco (CC), el cual solo en la etapa de floración tuvo un N de 1.73 %. En referencia a las deficiencias de N y excesos de Ca^+ y K^+ en etapa de fructificación, Crisóstomo (2014) también observó comportamientos similares, en donde se indica que los iones Ca^+ y K^+ hacen una fuerte competencia de entrada a las células con el NH_4^+ , generando un antagonismo.

4.7. Producción acumulada de fruto fresco

Los cuatro tratamientos presentaron diferencias altamente significativas para la variable producción acumulada de fruto fresco (Cuadro 16). El tratamiento de tezontle con fibra de coco fue el de mayor producción, mientras que el tratamiento de tezontle expresó una menor producción al primer grupo. El tercer grupo estuvo compuesto por el tratamiento de composta con fibra de coco y en última estancia el tratamiento que acumuló menor cantidad de fruto a lo largo del ciclo fue la mezcla de composta con cascarilla de arroz (Cuadro 16).

Cuadro 16. Producción acumulada de fruto fresco en arándano cv Biloxi, en función del tipo de sustrato utilizado.

Tratamiento	Producción acumulada de fruto fresco (g planta ⁻¹)
1 Tezontle	298.40 b
2 Tezontle/Estopa de coco	435.33 a
3 Composta/Cascarilla de arroz	232.60 c
4 Composta/Estopa de coco	282.20 bc
Pr>F	0.0001**
D.M.S	49.95
C.V	16.55

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Si bien los tratamientos de compostas (T3 y T4) tuvieron un menor diámetro de tallo que los que presentó el tratamiento de tezontle con fibra de coco (T2), las compostas se mostraron superiores en altura y se mostraron más vegetativas. El efecto de la relación agua/aire estuvo involucrado en los desarrollos vegetativos, esto se confirma con el tratamiento de tezontle (T1), que tuvo una menor cantidad de agua/aire (19.34 / 15.42 %) a todos los demás tratamientos (T2=15.47 / 32.21; T3=27.14 / 22.52; T4=16.56 / 30.84) y mostró diámetros de tallos inferiores y alturas inferiores al resto. Aun así, el tratamiento de tezontle fue el segundo en producción acumulada con 298.40 g planta⁻¹, seguido del tratamiento de tezontle con estopa de coco (T2), con 435.33 g planta⁻¹. Esto indica que una alta disponibilidad hídrica para la planta es perjudicial, ya que no permite una inducción floral adecuada. Dentro de los factores que regulan a las plantas en su desarrollo generativo o vegetativo es el riego, o la disponibilidad de agua en el medio (Bruynel, 1993). De esta manera se puede deducir que una falta de estrés y un

estado de confort, indujo un estado vegetativo dentro de los tratamientos de compostas, las cuales brindaron una mayor cantidad de agua y aire en el medio, afectando su producción.

4.8. pH del fruto

De acuerdo con los tratamientos de sustratos, no se presentaron diferencias significativas en el pH del fruto en ninguna de los cuatro sustratos del ensayo (Cuadro 17).

Cuadro 17. pH del fruto de arándano cultivado en diferentes sustratos

Tratamiento	pH
1 Tezontle	2.99
2 Tezontle/Estopa de coco	3.76
3 Composta/Cascarilla de arroz	2.78
4 Composta/Estopa de coco	2.74
Pr>F	0.32 NS
D.M.S	1.61
C.V	78.10

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Hernández (2014), obtuvo valores de pH en sus frutos de 3.44, sin embargo argumenta que los valores estándar para la variedad Biloxi oscilan entre 3.2 y 4.0 de pH; el único tratamiento que cumple estos parámetros es el de tezontle con fibra de coco con un pH de 3.76 (T2). Por su parte, Muñoz *et al.*, (2017) en el cv

Brigitta (*Vaccinium corymbosum*) encontró valores de pH en sus frutos de 2.9 a 2.94. Respecto a los valores más altos de pH encontrado en los frutos del tratamiento T2, se puede atribuir a una mayor madurez generada en los frutos por el tratamiento (Kushman y Ballinger, 1968).

4.9. Sólidos solubles totales (SST) del fruto

Los sólidos solubles totales en frutos de arándano, variaron de manera significativa entre los tratamientos de sustratos (Cuadro 18). El menor valor de SST, se obtuvo en frutos de plantas cultivadas en tezontle, con diferencias significativas con los demás tratamientos a excepción de la mezcla Composta de corteza de pino con estopa de coco. Entre los sustratos de tezontle/estopa de coco, Composta de corteza de pino/Cascarilla de arroz, composta de pino/Estopa de coco no existieron variaciones significativas en el contenido de SST (Cuadro 18).

Cuadro 18. Sólidos Solubles Totales (°Brix) del fruto de arándano en diferentes tratamientos de sustratos

Tratamiento	SST (°Brix)
1 Tezontle	12.28 b
2 Tezontle/Estopa de coco	13.52 a
3 Composta/Cascarilla de arroz	13.17 a
4 Composta/Estopa de coco	12.92 ab
Pr>F	0.002**
D.M.S	0.84
C.V	9.69

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Los frutos de arándano que reúnen las cualidades organolépticas deseadas por el consumidor deberán estar dentro del rango de los 11 a 12 °Brix (Lobos, 1988). Muñoz *et al.*, (2017) en el cv Brigitta (*Vaccinium corymbosum*) reportó valores de SST de 10.66 a 12.22 como máximo. Pinto (2007) en cuatro clones identificados como ARN-13, ARS-46, AET-10 y ALB-12 (*Vaccinium corymbosum*) obtuvo valores de SST con un rango de 14.7 a 16.85. Sin embargo, Zapata (2013) menciona que el % de SST estará en función del tipo de cultivar, encontrando en 'Biloxi' valores en el rango de los 11 a 12 °Brix.

Además del cultivar de arándano, los factores que afectan la concentración de SST son el estrés hídrico al que la planta se someta y también los frutos de mayor calibre tienden a concentrar más porcentaje de azúcares que aquellos frutos de menor calibre (Hernández, 2014). De igual manera, Kushman y Ballinger (1968) reportaron que el estado de madurez influye en la concentración de sólidos solubles totales. Por otro lado, Sanabria (2017), argumentó que el pH de la solución nutritiva influye en los SST, siendo condiciones ácidas las que proveen a los frutos una mayor concentración de azúcares.

De acuerdo con los resultados obtenidos, todos los tratamientos estuvieron dentro del rango aceptable de SST; sin embargo, haciendo un comparativo con Hernández (2014), quien obtuvo valores de 14.01 °Brix con cv Biloxi, el único tratamiento que alcanzó valores similares fue el tratamiento de tezontle con fibra de coco (T2), el cual obtuvo 13.52 de °Brix.

Siendo favorable la condición de acidez de la solución nutritiva para generar una mayor concentración de SST en el fruto, la superioridad en azúcares del tratamiento de tezontle con fibra de coco (T2) pudo deberse a la condición inerte del tezontle, ya que este no influyó en el pH entrante de la solución nutritiva (pH 4.5) y lo mantuvo en la rizósfera entre 4.7 a 5, en comparación a las compostas (6.0 a 6.3). Otra posible causa de la variación en los SST, es su asociación con el calibre o tamaño de fruto. Los frutos de mayor calibre tienden a concentrar más azúcares. El tratamiento de tezontle con fibra de coco fue superior en SST, y

presentó frutos de tamaño mediano en su mayoría, los cuales tuvieron un diámetro mayor a 12 mm y menor a 16 mm (Cuadro 13).

4.10. Calibre de frutos

En la Figura 2, se puede apreciar que el calibre de frutos denominado mediano sí estuvo influenciado por el tipo de sustrato; mientras que, los calibres “Muy pequeño”, “Pequeño” y “Grande” se mantuvieron sin variación significativa.

En el calibre “Mediano”, se crearon tres grupos Tukey, de los cuales el tratamiento de tezontle con fibra de coco se mostró superior al resto a de tratamientos, produciendo un mayor peso de fruto a lo largo de todo el ciclo. Los tratamientos de tezontle y composta con fibra de coco se mostraron similares en cuanto a fruto producido. La producción del tratamiento de composta con cascarilla de arroz se mostró inferior al resto (Figura 2).

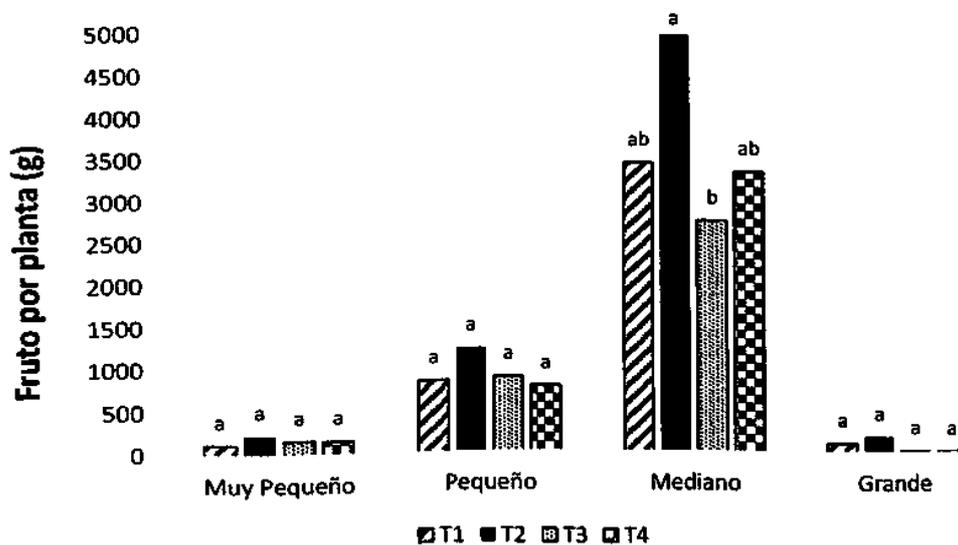


Figura 2. Tamaño de frutos de arándano cultivado en diferentes sustratos

T1= Tezontle; T2= Tezontle/Fibra de coco (80/20); T3= Composta/ Cascarilla arroz (70/30); T4=Fibra de coco/Composta (60/40). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey. $P < 0.05$).

El tamaño de fruto está determinado por el cultivar. Los cultivares de arándano Chandler, Blue One, Star, Cosmopolitan, Denise Blue, Roxy Blue y Topself, presentan calibres de fruto muy grande (> 18 mm). El cv Biloxi se caracteriza por frutos de tamaño mediano 14 a 16 mm de diámetro ecuatorial. El diámetro exportable gira entorno a los 10 mm de diámetro ecuatorial, sin embargo el mercado cada día exige calibres de mayor tamaño (Rodríguez y Morales, 2015; Negriño y Fernández, 2016; San Martín, 2013). La clasificación de tamaños utilizada fue; muy pequeño (<10 mm), pequeño (>10 mm), mediano (>12 mm) y grande (>16 mm).

Además del cultivar, otros factores que pueden influir en el calibre del fruto son las cubiertas de colores y condiciones químicas en el medio, como lo son alta CE y pH altos (Rodríguez y Morales, 2015; Mingeau *et al.*, 2001; Sanabria, 2017).

El tratamiento de tezontle con fibra de coco se mostró superior en calibres medianos (mayor que 12 mm y menor que 16 mm). Las posibles causas por el tipo de cubiertas plásticas o por altas concentraciones de sales se descartan, por encontrarse todos los tratamientos en igualdad de condiciones. En dicho tratamiento, el pH de la solución drenada se mantuvo con un pH estable a lo largo del ciclo del cultivo de 4.7 a 5.0; caso contrario en el tratamiento a base de composta de corteza de pino, donde el pH osciló de 6.0 a 6.3.

Sanabria (2017) en su experimentación con los cultivares Biloxi y Sharp Blue, encontró que la acidificación del agua de riego tiene un efecto positivo en los calibres de fruto, siendo ligeramente mayor el diámetro en las soluciones aciduladas que en las que no se acidificó.

4.11. Firmeza de fruto

Los tratamientos presentaron diferencias estadísticas altamente significativas en la firmeza de frutos de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 19). La mayor firmeza de frutos se presentó en el tratamiento de tezontle con fibra de coco, siguiendo en

orden descendente las mezclas de compostas de pino con cascarilla de arroz o estopa de coco. Los frutos menos firmes fueron producidos por el tratamiento de tezontle al 100% (Cuadro 19).

Cuadro 19. Firmeza del fruto de arándano cultivado en diferentes sustratos

Tratamiento	Firmeza (N)
1 Tezontle	2.30 c
2 Tezontle/Estopa de coco	2.80 a
3 Composta/Cascarilla de arroz	2.54 b
4 Composta/Estopa de coco	2.39 b
Pr>F	.0001**
D.M.S	0.16
C.V	18.50

T1=100%; T2= (80/20); T3= (70/30); T4= (40/60). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

La firmeza de fruto es un atributo de la textura de las frutas. El arándano siendo muy perecedero se vuelve una cualidad importante, debido a la necesidad de soportar la manipulación posterior a la cosecha. A medida que la baya se torna azul, esta va perdiendo firmeza, por ello, el estado de madurez comercial adecuada es cuando la coloración azul predomina en un 95% de la totalidad del fruto (Zapata *et al.*, 2010). Zapata *et al.*, (2010) en su estudio determinó la firmeza de cuatro variedades de arándano, cuyos valores fueron los siguientes, Misty con 1.94 N, Emerald con 1.83 N, Reveille con 1.56 N y O'Neal con 1.53 N. Hernández (2014) en la variedad Biloxi obtuvo una firmeza de 2.6 N, la cual se asemeja a la obtenida en los tratamientos de composta y cascarilla de arroz con un valor de 2.54 N. En el tratamiento de tezontle y fibra de coco se obtuvo la mayor firmeza de fruto con 2.8 N.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

El efecto de las **propiedades físicas** sobre la relación agua-aire de cada una de las mezclas de sustratos, tuvo un impacto directo en la **producción acumulada** de cada tratamiento, siendo el tratamiento de tezontle con fibra de coco el de mayor producción de frutos frescos, además, también produjo frutos de mayor calibre, menor acidez, mayor concentración de azúcares y firmeza. El pH de la solución drenada de los tezontles se mantuvo ácida (4.5 - 5.0) mientras que en las compostas tendió a alcalinizarse (5.9 - 6.2). Esto influyó en mayores concentraciones de **SST** en los frutos del tratamiento de tezontle con fibra de coco, además de una posible influencia en el calibre de los mismos. La **CE** de la solución drenada se mantuvo en valores óptimos para el cultivo de arándano.

La posible actividad microbiana presente en los sustratos de compostas promovieron en la planta de arándano un mayor **consumo de NO_3^-** , desencadenando un exceso de vigor en la planta y consumiendo en mayor medida **Ca** y **K** en comparación a los tratamientos de tezontle, sin verse reflejado en rendimiento o calidad, como lo es firmeza y grados °Brix. Los sustratos a base de composta de corteza de pino tuvieron en general un crecimiento vegetativo aceptable y pueden ser también una buena opción para la producción de arándano mediante adecuadas estrategias de riego para mantener un balance adecuado de aire/agua.

CAPÍTULO VII

LITERATURA CITADA

- Abad, B. M. (1993). Características y propiedades de los sustratos. Cultivos sin suelo, Curso superior de especialización. IEA. FIAPA. Junta de Andalucía. España, 67-80.
- Ansorena Miner, J. (1994). Sustratos: propiedades y caracterización (No. 631.811 A622s). Madrid, ES: Mundi-Prensa.
- Barbat, Teresa, (2005) "El arándano, ¿un cultivo con futuro?" en *Horticultura*. Vol. 1, núm. 187, septiembre, pp. 30-36. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía.
- Bascope, J. Andrés (2013). "Realidad productiva del arándano en EE.UU. y México" en *Agrimundo*. Disponible en: <http://www.agrimundo.cl/wp-content/uploads/Informe-ArandanoVF212013.pdf> (Consultado el 14 de abril de 2017).
- Beltrano, José y Daniel O. Gimenez (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Bruynel, P. P. (1993). Cultivar sin suelo y los factores climatológicos. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, (87), 22-28.
- Burés, P. S. (2002). Sustratos: propiedades físicas, químicas y biológicas. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, (1), 70-79.
- Crisóstomo, C. M. N., Hernández, R. O. A., López, M. J., Manjarrez, D. C., y Pinedo, A. A. (2014). Relaciones amonio/nitrato en soluciones nutritivas ácidas y alcalinas para arándano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 525-532.

- Cruz, C. E., Can, C. A., Sandoval, V. M., Bugarín, M. R., Robles, B. A., y Juárez, L. P. (2013). Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias*, 2(2).
- Cruzat, G. R., y Mancilla, V. B. (2010). Sustratos de Arándanos en Condiciones de Aridez. Ministerio de agricultura. Chile. 46 p.
- Deya, M. (1994). Tercera Parte Nutrientes Y Gases: Nitrogeno. *Manual De Ecología Microbiana*, 1-20.
- Díaz, F. R. S. (2004). Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. In *Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura*. Invernaderos: Diseño, Manejo y producción Torreón, Coah, México, Octubre (Vol. 13, No. 14, pp. 44-52).
- Dickson, R. W., Fisher, P. R., and Argo, W. R. (2017). Quantifying the Acidic and Basic Effects of Fifteen Floriculture Species Grown in Peat-based Substrate. *HortScience*, 52(8), 1065-1072.
- Dickson, R. W., Fisher, P. R., Argo, W. R., Jacques, D. J., Sartain, J. B., Trenholm, L. E., and Yeager, T. H. (2016). Solution ammonium: nitrate ratio and cation/anion uptake affect acidity or basicity with floriculture species in hydroponics. *Scientia horticultrae*, 200, 36-44.
- García, O., Alcántar, G., Cabrera, R., Gavi, F., y Volke, V. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra*, 19(3), 249-258.
- García, R. J. C., y García, G. de L. G. (2005). Orientaciones para el cultivo del arándano. Asturias: Servicio regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario.
- Hanson, E., and Hancock, J. F. (1996). *Managing the nutrition of highbush blueberries*. Michigan State University Extension.

- Hernández Hernández, David (2014). *Estudio nutrimental de arándano azul (Vaccinium corymbosum L.) cv. Biloxi en Los Reyes, Michoacán*. México, Colegio de Postgraduados, Texcoco, tesis de doctorado.
- Hirzel, C. Juan (2017). "Acumulación de nutrientes en frutos de arándano" en Red agrícola. Disponible en: <http://www.redagricola.com/cl/acumulacion-nutrientes-frutos-arandano/> (Consultado el 17 de noviembre de 2017).
- Kushman, L. J., and Ballinger, W. E. (1968). Acid and sugar changes during ripening in Wolcott blueberries. In *Proceeding of the American Society for Horticultural Science* (Vol. 2, pp. 290-295).
- Lobos, W. (1988). El arándano en Chile. *Seminario El cultivo del arándano*. INIA Carillanca. Temuco, Chile, 191-202.
- López, P. L., Cárdenas, N. R., Lobit, P., Martínez, C. O., y Escalante, L. O. (2005). Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(2), 171-174.
- Loyla, R. P. (2006). Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 28-37.
- Luchsinger, L., Soto, M., y Báez, S. R. (2006). Efecto de aspersiones de calcio en precosecha sobre la calidad postcosecha en frutos de frambuesaschilliwick'. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7(2).
- Mann, N. A. (2014). *Intensive Berry Production Using Greenhouses, Substrates and Hydroponics. Is this the Way Forward?*. Australia. Nuffield Australia Farming Scholars.
- Martínez, P. F., & Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. *Materiales, propiedades y manejo. Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Flórez R., VJ (Ed.). Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 37-77.

- Mesa Torres, Paola Andrea (2015). *Algunos aspectos de la fenología, el crecimiento y la producción de dos cultivares de arándano (Vaccinium corymbosum L. x V. darowii) plantados en Guasca (Cundinamarca, Colombia)*. Colombia, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, tesis de licenciatura.
- Mingeau, M., Perrier, C., y Améglio, T. (2001). Evidence of drought-sensitive periods from flowering to maturity on highbush blueberry. *Scientia Horticulturae*, 89(1), 23-40p.
- Moreno, J., Moral, R., García, J., Pascual, B. M., y Bernal, M. (2014). De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad. *Editorial Mundi-Prensa. Madrid*.
- Muñoz, V. P., Serri, H., López, M. D., Faundez, M., y Palma, P. (2017). EFECTO DE DIFERENTES INTENSIDADES DE PODA SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTA EN ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum L.*) cv. BRIGITTA. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 33(3), 285-303.
- Negrillo, A. M. C., y Fernández, J. J. F. (2016). Comportamiento fenológico de variedades de arándano en las condiciones locales de cultivo. *Tecnología agroalimentaria: Boletín informativo del SERIDA*, (18), 9-12.
- Ochmian, I., Grajkowski, J., and Ostrowska, K. (2006). Growth and yield of American blueberry (*Vaccinium corymbosum L.*) of 'Patriot' cultivar grown on three types of organic bed. *J. Grajkowski., K. Ostrowska//Electronic Journal of Polish Agricultural Universities: Horticulture.—Wrocław: Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, 9(3), 156-167.
- Pastor, S. B. (2002). Sustratos: propiedades físicas, químicas y biológicas. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, (1), 70-79.
- Pinto, C. M. P. (2007). *Descripción del desarrollo vegetativo y de las características físicas y químicas de los frutos de cuatro clones de arándano alto (Vaccinium corymbosum L.)* (Doctoral dissertation, Universidad Austral de Chile).

- Pinto, R. M., Mota, M., Oliveira, C. M., and Oliveira, P. B. (2016). Effect of substrate type and pot size on blueberry growth and yield: first year results. In XI International Vaccinium Symposium 1180 (pp. 517-522).
- 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*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 79-108.
- Retamal Salgado, J. A. (2014). Influencia de las condiciones microclimáticas bajo túnel alto sobre respuestas fisiológicas y productivas en arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) (Doctoral dissertation, Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía).
- Retamales, J. B. and J. F. Hancock, (2012). *Blueberries*. p. 41. CABI Publishing, Wallingford. UK.
- Rivaneira, M. F. (2012). Concentración de nutrientes en hojas de diferente estado de desarrollo en arándano. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 38(3), 247-250.
- Rodríguez, B. M. M. y Morales, U. D. M. (2015). Efecto de mallas sombreadoras sobre la producción y calidad de frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. *Scientia Agropecuaria*, 6(1), 41-50.
- San Martín, H. C., Ordaz, C. V. M., Sánchez, G. P., Colinas, L. B., María, T., y Borges, G. L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46(3), 243-254.
- San Martín, L. (2013). Situación varietal en arándano. Undurraga, P., y S. Vargas (eds.) *Manual de arándano*. Boletín INIA, (263), 15-21.
- Sanabria Bernal, F. F. (2017). Efecto de la acidificación del agua de riego en un cultivo de arándano (*Vaccinium Corymbosum*) en la Sabana de Bogotá.

- Schmilewski, G. (2008). The role of peat in assuring the quality of growing media. *Mires and peat*, 3(2).
- Soto, R., & Fabriciano, R. (1993). Efecto de las características físicas y químicas de diferentes mezclas de sustratos en el crecimiento de arándano en maceta (Doctoral dissertation, Tesis Ing. Agr. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile).
- Spiers, J.M., Stringer, S.J., Draper, A.D. and Gupton, C.L. (2002). 'Biloxi' southern highbush blueberry. *Acta Hort.* 574, 153-155.
- Trejo, T. L. I., Ramírez, M. M., Gómez, M. F. C., García, A. J. C., Baca, C. G. A. y Tejeda, S. O. (2013). Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE5), 863-876.
- Undurraga, D., y Vargas, S. (2013). Manual del arándano. Obtenido de Instituto de investigaciones agropecuarias Chillan Chile: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39094.pdf>.
- Urrestarazu, G. M. (2004). Tratado de cultivo sin suelo. Mundi Prensa Libros SA.
- Valenzuela, O. R., Gallardo, C. S., Carponi, S., Aranguren, M., Tabares, H. y Barrera, M. C. (2014). Manejo de las propiedades físicas en sustratos regionales para el cultivo de plantas en contenedores. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, (Vol. 4, No. 4, pp. 9-10).
- Vargas, T. P., Castellanos, R. J. Z., Muñoz, R. J. D. J., Sánchez, G. P., Tijerina, C. L., López, R. R. M. y Ojodeagua, A. J. L. (2008). Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura técnica en México*, 34(3), 323-331.
- Vence, L. B. (2008). Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. *Ciencia del suelo*, 26(2), 105-114.

Zapata, L. M., Malleret, A. D., Quinteros, C. F., Lesa, C. E., Vuarant, C. O., Rivadeneira, M. F., y Gerard, J. A. (2010). Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencia, docencia y tecnología*, (41), 159-171.