



Universidad Autónoma Chapingo

Departamento de Fitotecnia Instituto de Horticultura

USO DE SUSTRATOS EN DOS CULTIVARES DE
FRESA.

(*Fragaria x ananassa* Duch.)

TESIS:

COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
CENTRO DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

LICEA MORALES PABLO JESÚS

CHAPINGO, MÉXICO, JUNIO DE 2014



USO DE SUSTRATOS EN DOS CULTIVARES DE FRESA

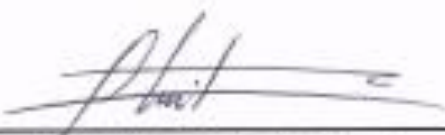
(*Fragaria x ananassa* Duch.)

Tesis realizada por **Pablo Jesús Licea Morales** bajo la dirección del Comité

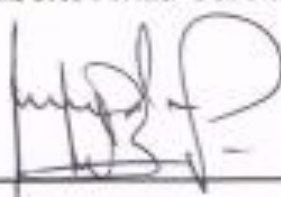
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de :

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA.

Director:


Dr. Edilberto Avitia García.

Asesor:


Dr. Joel Pineda Pineda.

Asesor:


Dra. Ana María Castillo González

Chapingo, México, Junio 2014.

DEDICATORIA

A Dios por prestarme vida para cumplir una meta más.

A mis padres que son mis cimientos, Delia Morales García y Lorenzo Licea Rojas por su increíble apoyo y amor.

A mi esposa y complemento María Guadalupe Cervantes Servín por su amor y respeto.

A mi luz María José Licea Cervantes que es mi motor para alcanzar nuevas metas.

A mi hermana Alma Delia Licea Morales y mi cuñado Ricardo Cervantes por su apoyo.

BIOGRAFÍA DEL AUTOR

El autor de la presente tesis, Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia Licea Morales Pablo Jesús, nació en Apaseo el Grande Guanajuato el 20 de enero de 1983. En 1998 ingresó a la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo y en el 2002 ingresa al departamento de Fitotecnia de la misma institución. Fue becario del programa PESA asesorando productores en maíz y frijol en Jerécuaro Guanajuato. Trabajo para la congeladora Niño como asesor técnico en la producción de fresa de exportación en Michoacán y Guanajuato. Trabajo como docente auxiliar en el Instituto Tecnológico de Roque extensión Apaseo el Alto Guanajuato. Trabaja como docente del CBTa 175 de Apaseo el Grande Guanajuato

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la Universidad Autónoma Chapingo, por abrirme nuevamente sus puertas para adquirir nuevos conocimientos.

Al comité asesor el Dr. Edilberto Avitia García, Dr. Joel Pineda Pineda y la Dra. Ana María Castillo González, por su disposición e importantes aportaciones realizadas al desarrollo del presente trabajo.

A la M. C. Cristina Moreno Calderón por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de maestría.

A los profesores del instituto de Horticultura que brindaron sus conocimientos de manera desinteresada y amable.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
RESUMEN / ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. Importancia del Cultivo de la Fresa	3
3.1.1. Situación mundial	4
3.1.2. Situación nacional	4
3.2. Descripción del Género <i>Fragaria</i>	6
3.3. Requerimientos del Cultivo de Fresa.....	10
3.3.1. Medio ambiente	10
3.3.2. Suelo	11
3.3.3. Necesidades hídricas	12
3.4. Nutrición	15
3.4.1. Aspectos de nutrición en fresa	16
3.5. Sustratos.....	18
3.5.1. Características físicas de los sustratos	19
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	22
4.1. Localización.....	22
4.2. Cultivares y Materiales Utilizados	22
4.3. Diseño Experimental	23
4.4. Características Físicas de los Sustratos	24
4.4.1. Densidad aparente	24
4.4.2. Espacio poroso total o porosidad total	25
4.4.3. Capacidad de retención de humedad	26
4.4.4. Capacidad de aireación	26
4.4.5. Curvas de liberación de humedad	27
4.5. Evaluaciones Químicas	27
4.6. Análisis del Tejido Vegetal	28
4.7. Fruto.....	29
V. RESULTADOS.....	30
5.1 Características Físicas de los Sustratos	30

5.1.1. Densidad aparente.....	30
5.1.2. Espacio poroso total.....	31
5.1.3 Capacidad de aireación	32
5.1.4. Capacidad de retención de humedad	33
5.2 Características Hídricas de los Sustratos	34
5.2.1. Agua fácilmente disponible.....	34
5.2.2. Agua de reserva.	35
5.2.3. Agua total disponible.....	36
5.3. Características Químicas de los Sustratos	49
5.3.1. Conductividad eléctrica.....	49
5.4. Contenido de Macronutrientes en los Sustratos Empleados	50
5.4.1. Nitrógeno.....	50
5.4.2. Fósforo	51
5.4.3. Potasio.....	51
5.4.4. Calcio	52
5.4.5. Magnesio	52
5.4.6. Sodio.....	53
5.5. Contenido de Micronutrientes en los Sustratos	54
5.5.1. Hierro	54
5.5.2. Manganeso	55
5.5.3. Zinc	56
5.5.4. Boro	56
5.6. Concentración Nutricional en Hojas	57
5.6.1 Nitrógeno.....	57
5.6.2 Fósforo	57
5.6.3. Potasio.....	58
5.6.4. Calcio	58
5.6.5 Magnesio	59
5.6.6. Sodio.....	59
5.6.7 Hierro	60
5.6.8 Manganeso	61
5.6.9. Zinc	61
5.6.10. Boro	62
5.7 Fruto.....	62
5.7.1. Número de frutos por fecha de corte	62

5.7.2. Peso de frutos por fecha de corte	64
5.7.3. Promedio del peso por fruto.	66
VI. DISCUSIONES.....	68
VII. CONCLUSIONES.....	83
VIII. LITERATURA CITADA	84

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Concentración de fertilizantes utilizados para la nutrición de las plantas hijas de los cultivares de fresa Festival y Jacona.....	22
Cuadro 2. Solución nutritiva utilizada para el cultivo hidropónico de fresa.....	23
Cuadro 3. Tratamientos evaluados en la investigación.....	24
Cuadro 4. Disponibilidad de humedad en los sustratos evaluados en fresa cv. Festival y Jacona.....	35
Cuadro 5. Valores promedio conductividad eléctrica de los sustratos finales utilizados en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	49
Cuadro 6. Valores promedio conductividad eléctrica por tratamiento evaluados en los sustratos finales utilizados en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	50
Cuadro 7. Concentraciones promedio de macronutrientes en extracto de saturación de los sustratos finales utilizados en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	51
Cuadro 8. Concentración promedio de macronutrientes en extracto de saturación de los sustratos finales utilizados en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona	54
Cuadro 9. Concentración promedio de micronutrientes en extracto de saturación de los sustratos finales utilizados en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	55
Cuadro 10. Concentración promedio de micronutrientes en extracto de saturación de los sustratos finales utilizados en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	56

Cuadro 11. Peso seco y concentración promedio de macronutrientes en hojas de fresa cv. Festival y Jacona.....	57
Cuadro 12. Peso seco y concentración promedio de macronutrientes por tratamiento en hojas de fresa cv. Festival y Jacona.....	59
Cuadro 13. Concentración promedio de micronutrientes en hojas de fresa cv. Festival y Jacona.....	60
Cuadro 14. Concentración promedio de micronutrientes por tratamiento en hojas de fresa cv. Festival y Jacona.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Densidad aparente promedio de los sustratos inicial y final evaluados en fresa cv. Jacona y Festival. T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle.....	30
Figura 2. Promedio del espacio poroso total en los sustratos inicial y final evaluados en fresa cv. Festival y Jacona. T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle.....	31
Figura 3. Capacidad de aireación promedio en los sustratos inicial y final evaluados en fresa cv. Festival y Jacona. T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle.....	32
Figura 4. Promedio de la capacidad de retención de humedad en los sustratos inicial y final evaluados en fresa cv. Festival y Jacona. T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle.....	33
Figura 5. Curva de liberación de humedad para el sustrato final de tezontle utilizado en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	37
Figura 6. Curva de liberación de humedad para el sustrato inicial de tezontle utilizado al momento del establecimiento del cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	38
Figura 7. Curva de liberación de humedad para el sustrato final de turba utilizado en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	39

Figura 8. Curva de liberación de humedad para el sustrato inicial de turba utilizado al momento del establecimiento del cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	40
Figura 9. Curva de liberación de humedad para el sustrato final de aserrín utilizado en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	41
Figura 10. Curva de liberación de humedad para el sustrato inicial de aserrín utilizado al momento del establecimiento del cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	42
Figura 11. Curva de liberación de humedad para el sustrato final de fibra de coco utilizado en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	43
Figura 12. Curva de liberación de humedad para el sustrato inicial de fibra de coco utilizado al momento del establecimiento del cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	44
Figura 13. Curva de liberación de humedad para el sustrato final de la mezcla 30 % turba + 70 % agrolita utilizado en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	45
Figura 14. Curva de liberación de humedad para el sustrato inicial de la mezcla 30 % turba + 70 % agrolita utilizado al momento del establecimiento del cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	46
Figura 15. Curva de liberación de humedad para el sustrato final de la mezcla 30 % turba + 70 % tezontle utilizado en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	47
Figura 16. Curva de liberación de humedad para el sustrato inicial de la mezcla 30 % turba + 70 % tezontle utilizado al momento del establecimiento del cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.....	48

Figura 17. Número de frutos de fresa cv Festival establecidas en diferentes sustratos T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle.....	63
Figura 18. Número de frutos de fresa cv. Jacona establecidas en diferentes sustratos T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle.....	64
Figura 19. Peso de frutos de fresa cv Festival establecidas en diferentes sustratos. T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle.....	65
Figura 20. Peso de frutos de fresa cv. Jacona establecidas en diferentes sustratos. T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle.....	66
Figura 21. Comparación de medias por tratamiento del promedio del peso de fruto evaluados en fresa cv. Festival y Jacona establecidas en diferentes sustratos T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle.....	67

USO DE SUSTRATOS EN DOS CULTIVARES DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.)

SUBSTRATE USE IN TWO STRAWBERRY CULTIVARS (*Fragaria x ananassa* Duch)

P. J. Licea Morales¹, E. Avitia García².

RESUMEN

La fresa es una frutilla que se caracteriza por su delicado sabor y alto contenido en vitaminas y es incluida en la dieta de millones de personas. La producción de cultivos sin suelo en invernadero, ha cobrado importancia como una alternativa de producción en la agricultura moderna, para producir económicamente cultivos de alto valor en mayor cantidad y con mejor calidad. Con el objetivo de proponer un sustrato adecuado para el cultivo de fresa en invernadero, se establecieron plantas de los cultivares Festival y Jacona en diferentes sustratos: tezontle, turba, aserrín, fibra de coco, 30 % turba + 70 % agrolita y 30 % turba + 70 % tezontle, en macetas de 1.3 L, los riegos fueron con la solución nutritiva de Steiner (al 100 %). Se evaluó la variación de las características físicas y químicas de los sustratos, al inicio y después de un ciclo de cultivo; además del estado nutrimental de las plantas, el número y peso de frutos. Al final del ciclo del cultivo en todos los sustratos la densidad aparente se elevó, el espacio poroso total y capacidad de aireación disminuyó; la capacidad de retención de humedad varió dependiendo del sustrato. El mejor desarrollo de la planta (acumulación de peso seco), con el mejor estado nutrimental y mejor producción (número y tamaño de frutos) se obtuvo con turba, por lo que el sustrato que se puede recomendar es éste, ajustando la frecuencia de riego de la solución nutritiva.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES:
Humedad, conductividad eléctrica, aireación, nutrimentos, porosidad

ABSTRACT

Strawberry is a berry-like fruit, included in the diet of millions; it is distinguished by its delicate taste and high vitamin content. Soil-free greenhouse production, has become a significant alternative in modern agriculture, in order to produce economically effective crops increased in quality and volume. With the aim of proposing a substrate suitable for growing strawberry in a greenhouse, Festival and Jacona cultivar plants were established in different substrates: volcanic sand, peat, sawdust, coconut fiber, 30 % peat + 70 % agrolita, 30 % peat + 70 % volcanic sand, in 1.3 liter containers, using Steiner's nutrient solution (at 100 %) for watering. Variation of the substrate's physical and chemical properties was evaluated before and after the growth cycle, besides the nutrimental condition of the plant, the number and weight of the fruit. At the end of the growth cycle, bulk density was higher in all substrates, total porosity and air capacity decreased; water retention capacity was variable depending on the substrate. The best plant growth, dry weight increase, best nutrimental condition, and best production (number and size of the fruit), was obtained by peat, due to it, this is the suitable substrate to be recommended making some adjustments on the nutritive solution watering frequency.

ADDITIONAL KEY WORDS: Humidity, Electric Conductivity, Aeration, Nutrients, and porosity.

I. INTRODUCCIÓN

En México los principales estados productores fresa son Michoacán, Baja California y Guanajuato, ya que en 2011 se reportó una superficie sembrada de 3351, 1820 y 1060 hectáreas, respectivamente; que representan aproximadamente el 89 % de la producción nacional; sin embargo, los rendimientos en dichas entidades son muy variables, pues en Baja California se tiene un rendimiento promedio de 46.7 t ha^{-1} ; en Michoacán 34.07 t ha^{-1} y en Guanajuato 12.12 t ha^{-1} (SIAP 2012).

Si bien la superficie destinada al cultivo de fresa a nivel nacional es pequeña, ($<1 \%$ de la superficie agrícola) juega un papel muy importante, pues genera empleos en el campo, congeladoras y empacadoras; sin embargo, tiene la desventaja de requerir una alta inversión inicial y es difícil su comercialización debido a que se trata de un producto altamente perecedero.

Actualmente el cultivo de la fresa se está orientando hacia las técnicas de producción bajo invernadero y malla-sombra; además en algunos casos se están utilizando sustratos con la finalidad de evitar la presencia de patógenos y mejorar las condiciones físico-químicas propias del suelo que limitan la producción; sin embargo, para lograr la eficiencia de estas técnicas productivas se requiere de experimentación para controlar aspectos que en el cultivo en suelo son imperceptibles.

Dependiendo de la naturaleza del sustrato que se esté manejando varían las características físico-químicas, ya que éste puede ser orgánico o inorgánico y debe existir un sustrato que se adapte más a los requerimientos del cultivo de la fresa; aunado a que se minimicen las pérdidas de nutrimentos y agua con el fin de tener una producción más elevada.

II. OBJETIVOS

- Evaluar diferentes sustratos sobre el desarrollo, rendimiento y calidad del fruto en el cultivo de la fresa.
- Determinar cuál de los sustratos proporciona una mayor disponibilidad de nutrimentos para la planta de fresa.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Importancia del Cultivo de la Fresa

La fresa es una frutilla deliciosa, con agradable apariencia y atractivo olor; la podemos encontrar en muchos países desde el ártico hasta los trópicos, ya que es la fruta con mayor distribución en el mundo, incluso más distribuida que la uva; esto debido que se adapta bien a diferentes climas (Galletta y Bringhurst, 1990; Hancock, 1999).

Aunado a que este cultivo cuenta con una buena adaptabilidad a diversos climas, podemos sumarle que ha alcanzado un desarrollo importante a nivel mundial, debido a que se puede cosechar durante todo el año; esta ventaja le ha ayudado a tener un desarrollo mayor que las frutillas con las que generalmente se le compara, como la zarzamora o frambuesa. El fruto de la fresa contiene un valor nutricional importante, ya que normalmente podemos encontrar 0.0051 miligramos de ácido fólico, 0.34 miligramos de ácido pantoténico, aunque su mayor valor nutricional sin lugar a duda es su alto contenido de vitamina C; sin embargo, este valor depende del clima y del momento de corte (Branzanti, 1989; Pérez, 1979).

Son muchos los factores que influyen sobre las mejoras genéticas que ha sufrido la fresa a nivel mundial, pero los que se pueden destacar son aquellos que influyen de manera directa sobre un mejor manejo del producto y que permiten transportarla tratando de conservar los estándares de calidad hasta el lugar de consumo. También es importante mencionar que todos los países han alcanzado un desarrollo diferente para la producción de este cultivo (Branzanti, 1989).

3.1.1. Situación mundial

La producción mundial de fresa en el año 2011 fue de 4'308,179.4 t y solo 5 países son los responsables del 54 % de la producción de este fruto, estos países son: USA, que produjo 1'312,960 t; Turquía con 302,416.00 t; España, que produjo 262,730.00 t; Egipto con 240,284.00 t y en quinto lugar México con una producción anual de 228,900.00 t. Se debe mencionar a países como Rusia, Holanda y Japón que destinaron una superficie importante a la producción de este fruto; sin embargo sus rendimientos no son competitivos, por lo que no se encuentran dentro de los principales productores a nivel mundial (FAO, 2013).

En lo que se refiere a los principales exportadores de fresa en el año 2011, España obtuvo el primer lugar, ya que exportó 231,732 t; USA, ocupó el segundo lugar al exportar 139,957 t y México el tercer lugar, al exportar 76,890 t. En el mismo año, los principales importadores fueron Canadá con 123,616 t; USA, con 110,457 t; Alemania, con 98,722 t; Francia con 90,587 y el Reino Unido al importar 47,077 t (FAO, 2013). Es importante mencionar que las importaciones de este fruto en USA ocurren de inicios de diciembre a finales de mayo, principalmente con el fin de cubrir la demanda de fresa en este país, ya que su producción no es suficiente (USDA, 2010).

3.1.2. Situación nacional

La fresa es un cultivo que requiere de una gran cantidad de mano de obra para los procesos de producción, transporte, industrialización y acondicionamiento. En México este cultivo requiere de una elevada cantidad de mano de obra para su producción, tanto en campo como en el procesamiento del producto; tan solo en la producción y cosecha es de

500 a 600 jornales ha⁻¹ en el sistema de producción tradicional y 1,100 jornales ha⁻¹ en el sistema de producción intensivo. Por esto se estima que a nivel nacional se gasta en mano de obra alrededor de \$395,582,640.00 y en la industria existe un pago de mano de obra de \$54,318,360.00. En conjunto la fresa ocupa en México 3,749,175 personas en mano de obra, lo que significa un beneficio económico de 450 millones de pesos anuales (CONAFRE, 2012).

La producción de fresa a nivel nacional está teniendo un aumento considerable en los últimos años, ya que en el año 2009 se produjeron 233,041.03 t, en el 2010 se obtuvieron 226,657.28 t; en el 2011 se obtuvieron 228,899.59 t y en el año 2012 se produjeron 360,426.45 t; esto anterior se debe principalmente al aumento de superficie plantada con fresa y al aumento del rendimiento por hectárea (SIAP, 2013).

En el año 2012 los principales estados productores fueron Michoacán con 203,313.9 t producidas, Baja California Norte con 111,708 t, Guanajuato con 19,600.0 t, Jalisco con 8,300.6 t y Baja California Sur con 9,840.0 t. Se ha observado un aumento constante en la superficie sembrada y también un aumento en los rendimientos; en el año 2012 el primer lugar lo obtuvo el estado de Baja California Norte con 52.20 t ha⁻¹, seguido por Michoacán con un rendimiento de 43.11 t ha⁻¹, Baja California Sur con 39.2 t ha⁻¹, Jalisco con 27.30 t ha⁻¹ y Guanajuato con 21.72 t ha⁻¹. Esto se debe principalmente a que en los estados con mayores rendimientos se utiliza tecnología más moderna así como cultivares mejorados (SIAP, 2013).

3.2. Descripción del Género *Fragaria*

El nombre científico de la fresa proviene del latín *fragans*, que significa fragante y pertenece a la familia *Rosaceae*, las especies de este género se encuentran difundidas por las zonas tropicales, subtropicales y países escandinavos del mundo (Branzanti, 1989; Hancock, 1999).

Galletta y Bringham (1990), mencionan que el género *Potentilla* es el pariente más cercano a *Fragaria* del cual podría descender. El género *Fragaria* contiene diversos grupos de fecundidad; además de que tiene series poliploides que van desde diploides ($2n=14$) como *F. vesca* o *F. viridis* hasta octaploides ($2n=56$) como *F. chiloensis* y *F. x ananassa* Duch. (Hancock, 1999). Hancock y Bringham (1979) mencionan que debido a que el género *Fragaria* es un heterocigoto y es poliploide, tiene un amplio intervalo de adaptación a diferentes climas. Según Maroto y López (1988), las especies de *Fragaria* que se cultivaban fueron sustituidas tanto en Europa como en América por *F. x ananassa* Duch, debido a que estas tienen un fruto más grande.

El género *Fragaria* cuenta con al menos 150 especies; sin embargo, las más importantes son cinco: *F. vesca* Linn., *F. viridis* Duch., *F. moschata* Duch., *F. chiloensis* Duch., *F. ovalis* (Lehm) Rydb. y *F. virginiana* Duch. (Branzanti, 1989).

La fresa cultivada actualmente es reconocida como un híbrido entre la *F. virginiana* y *F. chiloensis* y se conoce botánicamente como *Fragaria x ananassa* Duch. Debido a su origen híbrido este cultivo se puede adaptar a diversas condiciones climáticas como tropicales, subtropicales y en países escandinavos (Branzanti, 1989).

El género *Fragaria* tiene como características principales que son plantas herbáceas, perennes, constituidas por una corona, estolones de fácil enraizamiento; además de tener

hojas palmeadas trifoliadas y dentadas que se insertan en la corona mediante pecíolos. En la mayor parte de las especies encontramos plantas dioicas pero podemos encontrar monoicas, hermafroditas; así como plantas con flores hermafroditas y unisexuales en la misma planta; sin embargo, la mayoría de las plantas cultivadas, salvo algunas excepciones, son con flores hermafroditas (Branzanti, 1989).

En general, las raíces y hojas aparecen de la corona; el tallo está de una manera compacta en la corona y mide aproximadamente 2.5 cm; además, el tallo está cubierto por escamas foliares y cuando brotan las hojas tienen entrenudos muy cortos; las flores toman una posición terminal en el tallo, por lo que el crecimiento de la planta se considera determinado. La corona consiste en una médula central rodeada por un anillo vascular, las hojas de la mayoría de las especies viven solo unos meses y mueren al ser expuestas al frío en otoño, aunque algunas especies de *F. chilensis* permanecen verdes en esta temporada siempre y cuando las temperaturas no estén muy cercanas a cero. Los nuevos brotes de hojas suelen aparecer una vez que se termina el invierno (Hancock, 1999).

Las hojas de la fresa están acomodadas en espiral alrededor de la corona, la 6^{ta} hoja queda exactamente arriba de la primera hoja, son pecioladas y tienen dos estípulas rojizas, las hojas son trifoliadas, pinadas y con el envés cubierto de tricomas, solo tiene estomas en el envés de la hoja (Maroto y López 1988; Hancock, 1999).

En este cultivo, podemos encontrar raíces adventicias que crecen en la base del periciclo situado en la corona; las raíces primarias crecen desde la base de la corona al estar en contacto con el suelo y su anatomía es típicamente de las dicotiledóneas, viven aproximadamente un año y se convierten en una masa fibrosa, pero si las tenemos bajo un gran estrés o con alguna enfermedad pueden morir en una semana. El número de raíces primarias varía desde 20 hasta 30, dependiendo de la especie y podemos

encontrar cientos de raíces secundarias y terciarias. Cabe mencionar que el tipo de raíz de la fresa es fibrosa y pueden alcanzar una profundidad en el suelo de hasta 105 cm, pero del 50 al 90 % de las raíces están a una profundidad de 10 a 15 cm (Galletta y Bringhurst, 1990; Dana, 1980; Hancock, 1999).

Las yemas axilares pueden crear estolones, que se forman en respuesta a la interacción del potencial genético y el medio ambiente; ya que, en especies sensibles a la duración del día, cuando tenemos días largos de primavera y verano en climas templados se comienzan a formar los estolones, aunque a las plantas de día neutro no les afecta la duración del día (Dana, 1980). Hancock (1999) menciona que plantas vigorosas de *F. x ananassa* pueden producir de 10 a 15 estolones al año y que se inicia cuando tenemos temperaturas de 21 a 30 °C.

Los estolones se diferencian porque tiene dos entrenudos distanciados en los que aparecen rosetas de hojas y raíces adventicias, estos pueden generar un nuevo individuo; aunque no es la única forma de propagación asexual que tienen las fresas, ya que la corona también puede dividirse y generar varias coronas hijas (Galletta y Bringhurst, 1990). Cuando dos estolones están conectados entre sí, se tiene una buena disponibilidad de nutrimentos y además el tejido vascular está en buenas condiciones, las dos plantas pueden crecer de manera satisfactoria sin que se afecte el desarrollo de la planta madre (Alpert, 1991); además, Holzapfel y Alpert (2003) mencionan que mientras el estolón este joven, el desarrollo de las raíces no influye mucho en el crecimiento del estolón, ya que la principal vía de administración de los nutrimentos es por medio del tejido vascular que viene de la planta madre. Hancock (1999) menciona que los estolones pueden sobrevivir de manera independiente después de dos a tres semanas de haber sido enraizados.

Las flores son actinomorfas, con cáliz gamosépalo y pétalos blancos. La polinización puede ser por el viento, por gravedad y/o por insectos (Maroto y López, 1988; Dana, 1980). Las inflorescencias de la fresa son tallos modificados que terminan en una flor primaria seguida de dos secundarias, cuatro terciarias y 8 cuaternarias. Las flores típicas tienen 10 sépalos, 5 pétalos, de 20 a 30 estambres y de 60 a 600 carpelos (Hancock, 1999). Delaplane y Mayer (2000), mencionan que las flores primarias tienen cerca de 350 carpelos, las secundarias 260 y las flores terciarias 180.

El polen madura antes de que abran las anteras, pero no se libera hasta que las flores abren. El polen es viable durante 2-3 días, el estigma permanece receptivo durante un lapso de 8 a 10 días y la fecundación ocurre en 24 a 48 horas después de la polinización (Hancock, 1999). Según Delaplane y Mayer (2000) los óvulos que no son fecundados no crecen y por lo tanto tenemos deformación en los frutos.

El fruto de la fresa está compuesto por numerosos ovarios, cada uno con su respectivo óvulo y el fruto botánicamente se le llama aquenio; el embrión consiste en dos cotiledones semielípticos que contienen proteínas y grasas. El receptáculo está formado por la epidermis la corteza y médula; las dos últimas capas están separadas por un tejido vascular que suministran nutrimentos al fruto en desarrollo (Hancock, 1999). La forma del fruto puede variar dependiendo del cultivar, ya que pueden ser cónica, deprimida, globulosa, esférica, etc. Su peso varía de 2 a 60 gramos (Maroto y López, 1988).

3.3. Requerimientos del Cultivo de Fresa

3.3.1. Medio ambiente

Debido a la diversidad del origen de la fresa cultivada, el intervalo de temperaturas y de fotoperiodo que requiere para su óptimo desarrollo son variables; sin embargo, se ha observado que donde mejor resultado ha tenido este cultivo es en lugares donde la temperatura media oscila entre los 23 y 25 °C y que en lugares donde encontramos temperaturas de -2 a -4 °C durante la floración causa necrosis y paulatinamente la muerte de todos los pistilos. La resistencia a las bajas temperaturas depende del cultivar que se esté utilizando, debido a que tienen un amplio intervalo de variación; por ejemplo, los cultivares de floración tardía tienen una resistencia indirecta a las heladas, ya que se encuentran menos expuestas al frío; las que tienen flores por encima del follaje tienen menor resistencia a heladas, puesto que están más expuestas a la intemperie (Branzanti, 1989). Lo anterior coincide un poco con lo expuesto por Vega (2008), ya que además de mencionar que el mínimo biológico de la fresa es de 5 °C y que el óptimo y el máximo agrícola dependen del cultivar con el que se trabaje.

Como sabemos, la duración del día rige el estado fenológico de muchas plantas, y entre ellas se encuentra la fresa; esto debido a la gran distribución del género *Fragaria* del cual se obtuvo la fresa cultivada mediante la cruce de diferentes especies; por lo tanto, encontramos fresas con diferente fotoperiodo como son de día corto, día neutro y día largo (Vega, 2008); sin embargo, el fotoperiodo de los cultivares comerciales que se encuentran en la actualidad son de día corto y de día neutro; aunque en algunos lugares se prefieren los de día neutro, ya que la duración del día no sería una limitante para homogeneizar la producción, y esto se lo debemos a Bringhurst y Voth (citados por

Hancock, 1999), ya que transfirieron los genes de día neutro de *F. virginiana* spp. gluaca a *F. x ananassa*.

Hancock (1999) menciona que en los lugares en donde hay un invierno muy frío la diferenciación floral inicia a finales de verano y principios de otoño, y cuando se tienen temperaturas más cálidas en primavera ocurre la floración. Las plantas de día corto inician su floración cuando el día dura menos de 14 horas o cuando la temperatura es menor de 15 °C; arriba de esta temperatura el fotoperiodo crítico para la inducción floral es de 8 a 12 horas. Los cultivares de fresa que tienen un fotoperiodo neutro producen flores aproximadamente 3 meses después de ser plantadas, pero temperaturas de 30 °C en el día y 26 °C por la noche pueden inhibir completamente la inducción floral. Hacker y Tristar (citados por Hancock, 1999) encontraron que los cultivares de día neutro pueden tener un buen rendimiento cuando se tienen temperaturas diurnas de 18 a 14, 22 a 18 o 26 a 22 °C.

En relación a la altitud, el cultivo de la fresa se desarrolla satisfactoriamente en llanuras o en colinas bajas, en altitudes de 1 600 msnm; aunque hay que tomar en cuenta que la cosecha se puede retrasar de 3 a 5 días por cada 100 m de altitud que se aumenten (Lind *et al.*, 2003).

3.3.2. Suelo

Uno de los parámetros críticos para establecer el cultivo de la fresa es el desarrollo radical, ya que si tenemos suelos demasiado finos dificultan la penetración de las raíces; suelos con elevado contenido de sales, alta retención de humedad, presencia de

nematodos, hongos e insectos dañinos pueden hacer que la producción se pierda (Galletta y Bringham, 1990).

Venegas *et al.* (2008) y Hancock (1999) indican que los suelos francos, con buen drenaje y con un contenido de 600 a 700 kg ha⁻¹ de materia orgánica son los ideales para este cultivo. El drenaje es prioritario, ya que las raíces que se encuentran en una saturación hídrica mueren debido a que la supervivencia de las raíces depende del oxígeno (Galletta y Bringham, 1990). Por otro lado, Pérez (1979) señala que las tierras demasiado arcillosas, compactas y con poco drenaje resultan peligrosas para el cultivo, también alude a que su terreno preferido son los suelos francos, de compactación media.

Hancock (1999) indica que el pH requerido en el suelo debe estar entre 6.0 y 6.5. Las fresas cultivadas en suelos con pH arriba de 7.5 muestran síntomas de deficiencia de hierro, magnesio y manganeso; sin embargo, Branzanti (1989), menciona que el pH óptimo para el cultivo de la fresa en suelo está entre 5 y 6; pero que debemos tomar en cuenta la resistencia de algunos cultivares, ya que se pueden acoplar perfectamente a un pH entre 8 y 8.5; en lo que se refiere a un cultivo hidropónico el pH óptimo debe estar entre 5.7 y 6. Las plantas de fresa también son muy susceptibles a la salinidad, ya que con niveles altos de sales la planta muestra enanismo, acorchamiento marginal de las hojas y mermas importantes en el rendimiento (Hancock, 1999).

3.3.3. Necesidades hídricas

La fresa requiere de una gran cantidad de agua, por lo que en lugares donde los regímenes de lluvia son bajos a mal distribuidos se necesita una fuente de agua para tener un cultivo rentable. Se estima que la fresa requiere de 4,000 a 6,000 m³ (400 a 600

mm) por año, considerando que absorbe el agua en los primeros 30 a 40 cm del suelo, es importante no dar riegos demasiado pesados, pues mucha de esa agua se desperdiciaría (Branzanti, 1989).

Hancock (1999) señala que la irrigación puede llevarse a cabo mediante diferentes métodos; como el de aspersión, por gravedad y por goteo; también alude que el riego por goteo es el que se usa de una manera más generalizada, debido a su eficiencia; sin embargo, en lugares donde se tienen climas muy fríos, y es necesario minimizar los posibles estragos que pueda causar este al cultivo, es aconsejable usar el riego por aspersión.

Cuando la pérdida de agua por transpiración es mayor al agua absorbida, las plantas de fresa se marchitan; si esto continúa durante varios días, las hojas viejas mueren; si el estrés hídrico se acentúa las raicillas mueren y la planta requiere de varias semanas para recuperarse. Por lo anterior, es necesario mantener húmedo el suelo mediante la aplicación de varios riegos para esperar un rendimiento adecuado del cultivo, de lo contrario el potencial productivo del cultivo se ve mermado (Branzanti, 1989). Dejando fuera la cantidad de agua que requiere por sí misma la planta de la fresa, el volumen de agua que debemos aplicar depende del sistema de riego que se esté utilizando, el clima y la etapa fenológica en la que esté el cultivo; en un clima mediterráneo, con riego por goteo y con acolchado, debemos aplicar de 1 200 a 2 000 mm de agua por temporada dependiendo de la evaporización (Hancock, 1999).

La programación del riego también depende de la textura del suelo en los primeros 30 cm, debido a que en esa profundidad tenemos el mayor porcentaje de raíces, y para esto podemos usar tensiómetros que nos ayuden a mantener un 50 % de agua disponible para las plantas. Otra de las técnicas que nos pueden servir para mantener un nivel hídrico

adecuado para el cultivo, es mediante el déficit de presión de vapor que varía con el tamaño de la hoja y que para el caso de la fresa está entre 0.55 y 0.08 Kc (Hancock, 1999).

Las necesidades hídricas dependen de la temperatura del ambiente, latitud, velocidad del viento, la etapa fenológica de la fresa y técnicas de cultivo como acolchado, cultivo con cobertera, microtúnel, etc. Durante un estrés hídrico leve no se afecta de manera considerable el tamaño de la hoja, pero se aumenta el número de flores y debido a la competencia por nutrimentos, el tamaño del fruto disminuye, lo que deriva en una reducción del rendimiento; aunque si tenemos un estrés hídrico más prolongado, éste trae consigo una disminución del área foliar, menor número de hojas y cierre estomatal, lo que se transforma en una reducción de la fotosíntesis y una disminución del intercambio gaseoso (Branzanti, 1989; Hancock 1999).

A lo largo del ciclo anual de la fresa se tienen etapas críticas de consumo de agua, el primer momento lo encontramos en la plantación, ya que el terreno se seca más fácilmente; por lo que requieren de una gran cantidad de agua para que las plantas no se marchiten. El segundo momento en el que se requiere una mayor cantidad de agua es durante el desarrollo de las plantas; esto debido a que inicia una gran actividad metabólica para el desarrollo de los aparatos radical, foliar y la constitución de la corona. Una vez que la corona ha alcanzado su máximo desarrollo, al inicio de la inducción floral, puede ser útil una limitación de agua. Un tercer momento de intenso consumo de agua lo encontramos en la primavera, cuando la planta está sometida a una gran actividad metabólica para la reconstrucción de la corona y la emisión de las inflorescencias; durante este periodo un exceso de agua o una limitación de la misma, reduce el desarrollo de las

raíces y un riego oportuno promueve el desarrollo radical. El cuarto momento en el que el cultivo requiere una gran cantidad de agua es durante la floración y maduración del fruto; si se tiene un estrés hídrico durante estos periodos afecta directamente a la cantidad y calidad de la producción (Branzanti, 1989). Hancock (1999) indica que un estrés hídrico al inicio de la floración implica una reducción importante en el número de flores; sin embargo, un estrés hídrico impuesto al final de la floración puede traer consigo un mayor número de flores brotadas.

3.4. Nutrición

Los nutrimentos de las plantas son elementos químicos que participan en su desarrollo y reproducción; dichos elementos son muy importantes, ya que en su ausencia o escasez la planta puede mostrar crecimiento anormal, deficiencias, interrupción de la etapa reproductiva de la planta e incluso la marchitez de la misma; además, estos elementos por lo general no pueden ser substituidos de manera satisfactoria dentro del metabolismo de la planta (Barker y Pilbeam, 2007).

En la actualidad existen más de 100 elementos y solo 17 de ellos son considerados como esenciales para las plantas. El carbono, hidrógeno y oxígeno son tomados del aire y del agua; el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, magnesio, cobre, boro, zinc, molibdeno, cloro y níquel son obtenidos del suelo o administrados por soluciones nutritivas (Barker y Pilbeam, 2007; Vega 2008).

Se han hecho diversos experimentos para verificar lo indispensable de los elementos en el desarrollo de la plantas y se ha encontrado que el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre se requieren en cantidades considerables, debido a que forman parte de alrededor del 0.1 % de la materia seca y por eso son llamados macronutrimentos. Por otro lado, elementos como el boro, cobre, cloro, hierro, manganeso, molibdeno, níquel y

zinc son requeridos por la planta en pequeñas cantidades, ya que individualmente forman parte de alrededor del 0.01 % de la materia (Barker y Pilbeam, 2007).

Para preparar una solución nutritiva los elementos son administrados por los fertilizantes, los cuales tienen diferente solubilidad; debido a esto buscamos utilizar fertilizantes que tengan una solubilidad alta, ya que se requiere que se queden en solución para ser absorbidos por las plantas (Vega, 2008).

Una vez razonado que necesitamos fertilizantes con una solubilidad elevada, hay que tomar en cuenta la pureza de los mismos, para asegurarnos que estamos aportando la cantidad adecuada de nutrientes; también es importante cuantificar los elementos presentes en el agua que se va a utilizar y restárselos a cada elemento que tenemos que aportar a la solución nutritiva (Vega, 2008).

3.4.1. Aspectos de nutrición en fresa

Al igual que todas las plantas, la fresa requiere de niveles adecuados de nitrógeno, fósforo y potasio para un buen crecimiento y desarrollo. Si tenemos una elevada cantidad de nitrógeno se pueden presentar frutos muy suaves, se retrasa la maduración, bajan los rendimientos y se incrementa el riesgo de enfermedades como mildéu (*Sphaerotheca macularis*); por otro lado, un adecuado nivel de calcio es importante para mantener una buena firmeza del fruto; con deficiencias de boro se reduce considerablemente la viabilidad del polen y se ocasiona una deformación de los frutos (Hancock, 1999).

El nitrógeno es esencial para las plantas de fresa después de las tres semanas de haberlas plantado, por lo que debemos utilizar fertilizantes que tengan buena disponibilidad durante este periodo; para esto se recomiendan fertilizantes de lenta

liberación; por otro lado, elevadas cantidades de nitrógeno pueden causar maduración tardía, rendimientos bajos, mayor incidencia de hongos y ácaros; además se fomenta el crecimiento vegetativo, por lo que el rendimiento se ve mermado (Hancock, 1999).

Venegas *et al.* (2008) mencionan que las plantas de fresa que tienen una deficiencia severa de fósforo presentan un tamaño reducido y las hojas viejas llegan a ser pardas y secas.

Cuando tenemos deficiencias iniciales de potasio los frutos no muestran signos externos de tal deficiencia, pero las flores pueden mostrar cálices muertos; además de mermar de manera importante el rendimiento, pues se observa una disminución considerable en el tamaño de los frutos (Venegas *et al.*, 2008).

Al igual que ocurre con la mayoría de los micronutrientes, cuando se produce la fresa en un pH alcalino se tiene deficiencia de hierro, lo que ocasiona una reducción del vigor del cultivo (Venegas *et al.*, 2008; Hancock, 1999).

Cuando se tiene deficiencia de boro el rendimiento y la calidad del fruto se ven mermados, debido a que el polen y el receptáculo pierden su eficiencia, por lo que se tienen frutos deformes y pequeños; además este elemento es fácilmente lixiviado, por lo que hay que tener un buen control del riego. Si el cultivo tiene deficiencias de zinc se pueden esperar rendimientos bajos, ya que se tienen hojas y frutos pequeños (Hancock, 1999).

Una vez que se toman en cuenta algunos problemas que pueden causar las deficiencias nutrimentales, es importante recalcar que se debe mantener la solución nutritiva en un pH de 5.5 a 6.0, con el fin de que los nutrientes estén disponibles para la planta; también es

muy importante manejar una conductividad eléctrica de 1.0 a 1.2 dS m⁻¹ como máximo, ya que se trata de un cultivo muy sensible a la salinidad (Vega, 2008).

Para la solución nutritiva en un cultivo hidropónico de fresa, se recomienda tener una concentración de 150 a 180 ppm de nitrógeno, 40 a 100 ppm de fósforo, 100 a 300 ppm de potasio, 100 a 350 ppm de calcio, 30 a 50 ppm de magnesio, 3 a 5 ppm de hierro, 0.4 a 0.8 ppm de manganeso y 0.05 a 0.25 ppm de zinc (Vega, 2008).

3.5. Sustratos

Burés (1997) menciona que en la horticultura se conoce como sustrato en general a todo medio que se utilice para el cultivo de plantas en contenedores; esto cuando hablamos de un solo sustrato, y cuando hablamos de mezclas se habla de componentes de sustratos. Este autor también menciona que un buen sustrato debe de tener una buena capacidad de retención de humedad, adecuada oxigenación, debe proporcionar un buen soporte nutricional o de lo contrario ser suministrarlos, tener resistencia al lavado de nutrientes, estabilidad en la composición química, un fácil control de pH añadiendo yeso o cal, proporcionar estabilidad frente a la desinfección con vapor o productos fumigantes, debe ser uniforme en la granulometría, fácil de mezclar, posibilidad de ser reciclados, bajo costo, bajo peso y baja contracción del volumen durante el almacenaje.

Los sustratos deben proporcionar cuatro funciones básicas: proveer agua a la planta, suministrar nutrientes, permitir el intercambio gaseoso de las raíces con el medio y proveer de soporte para las plantas (Peñuelas y Ocaña, 1996).

Fonteno (1994) define a los sustratos como cualquier material o mezcla de materiales que dan soporte, retención de agua, aireación o retención de nutrientes para permitir el crecimiento de la planta.

Urrestarazu (2004) señala que el término sustrato se aplica en horticultura a todo material sólido que no sea in situ, natural o de origen residual, mineral u orgánico que sirva como anclaje del sistema radical y que sirva de soporte para la planta. El sustrato puede o no participar en la nutrición mineral de la planta. Debido a la importancia de las reacciones químicas del sustrato, podemos clasificarlos en:

- a) Químicamente inertes: arena, granítica, grava, perlita, lana de roca, etc.
- b) Químicamente activos: turbas, corteza de pino, vermiculita, materiales lignocelulósicos, etc.

Cabrera (1999) alude que la producción exitosa de plantas de calidad en contenedores, requiere de un entendimiento óptimo del ambiente encontrado en éstos, y como es afectado por las propiedades físicas y químicas de los sustratos que se usan.

3.5.1. Características físicas de los sustratos

Ansorena (1994), señala que entendemos por propiedades físicas de los sustratos a aquellas que podemos ver y sentir como la granulometría, color, retención de agua y aireación; además, aconseja que antes de establecer un cultivo hidropónico, hay que tomar en cuenta las propiedades físicas del sustrato, ya que no se puede modificar su estructura; sin embargo, Orozco y Marfá (1995) mencionan que estas propiedades se alteran cuando se hace un uso prolongado del sustrato, debido al reacomodo de las partículas, el movimiento de las partículas finas, la fragmentación causada por la acción de las raíces, la descomposición de la materia orgánica o debido a la fragilidad de las partículas.

Granulometría. Toirac (2012) define a la granulometría como la distribución en porcentaje de los diversos tamaños del agregado en una muestra de suelo. Sin embargo, Ansorena (1994) menciona que la granulometría en si es el tamaño de partículas que encontramos en un suelo y que en un sustrato encontramos mezclas de partículas de diferentes tamaños. Generalmente la granulometría expresa la distribución de tamaños de partículas que componen un material; ésta puede variar dependiendo de factores como el origen y naturaleza, sistema de recolección, condiciones de trituración y tamizado. La importancia de conocer el tamaño de las partículas presentes en el sustrato reside en que estas definen a su vez el tamaño de los poros situados entre ellas. Orozco y Marfá (1995) en su estudio para evaluar las características físicas de diferentes perlitas, determinaron que la granulometría se puede ver afectada por la desintegración del material que conforma a la perlita, e incluso menciona una pérdida de partículas finas a lo largo del proceso del cultivo. Anicua *et al.* (2008) señalan que la granulometría y la naturaleza del sustrato son factores que determina la porosidad total del mismo. A medida que aumenta el tamaño medio de las partículas, la porosidad aumenta y la retención de humedad disminuye y viceversa; si tenemos partículas pequeñas, el espacio poroso total disminuye y aumenta la retención de humedad, ya que aumenta el número de microporos (Peñuelas y Ocaña, 1996); por otro lado Urrestarazu (2004), menciona que los poros de un sustrato se dividen en poros capilares ($<30\ \mu m$) que son los que retienen el agua y macroporos ($> 30\ \mu m$) que son los que proporcionan de oxígeno a las raíces después de que el sustrato ha drenado

Si en un sustrato se tiene un grupo de partículas entre 1 y 10 mm, tanto la porosidad como la cantidad de agua retenida varían poco con el tamaño de la partícula; sin embargo, con partículas menores de 1 mm se observa un brusco descenso de la porosidad total y aumento de la retención de humedad. Así mismo, en un sustrato en el

que se tienen partículas grandes y pequeñas, las pequeñas se alojan entre las grandes; por lo que el espacio poroso que ocupa el aire disminuye y aumenta la retención de humedad, debido al aumento de los microporos (Ansorena, 1994).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización

La investigación se realizó en un invernadero de cristal del Instituto de Horticultura en la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado geográficamente entre los 19°29' latitud norte y 98°53' longitud oeste, a 2240 msnm.

4.2. Cultivares y Materiales Utilizados

Se utilizaron plantas de fresa de los cultivares Festival y Jacona, que se obtuvieron a partir de plantas madre tratadas con tres aplicaciones de ácido giberélico (a partir del 30 de abril del 2012), en dosis de 100 ppm y a intervalos de un mes entre aplicaciones. Las plantas hijas se fueron enraizando en vasos de unicel que contenían como sustrato una mezcla de turba y agrolita en proporción de 2:1. Posteriormente se mantuvieron las plantas con riegos cada dos días y se aplicaron 10 ml de una solución nutritiva (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración de fertilizantes utilizados para la nutrición de las plantas hijas de los cultivares de fresa Festival y Jacona.

Fertilizante	Concentración (mg L ⁻¹)
K ₂ SO ₄	33.3
NH ₄ H ₂ PO ₄	6.6
CaSO ₄ 2H ₂ O	200
MgSO ₄ 7H ₂ O	13.3
Fe EDTA	6.6
H ₃ BO ₃	6.6
MnCl ₂ 4H ₂ O	6.6
ZnSO ₄ 7H ₂ O	6.6
CuSO ₄ 5H ₂ O	6.6
H ₂ MoO ₄ H ₂ O	6.6

El trasplante de las plantas utilizadas para la investigación se hizo en contenedores más grandes cuya capacidad era de 1.3 litros y a las plantas se les dejó únicamente dos hojas para disminuir la transpiración.

Una vez establecido el cultivo se realizaron riegos conforme la planta lo requiera, y se aplicaron diariamente 50 ml de solución nutritiva de Steiner al 100 % (Cuadro 2). Se utilizaron diferentes sustratos (Cuadro 3), colocando una planta por maceta.

Cuadro 2. Solución nutritiva utilizada para el cultivo hidropónico de fresa.

Elementos (mg L ⁻¹)												
pH	CE (dS m ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
5.5	1.5	168	31	273	180	48	112	3	0.5	0.1	0.1	0.1

4.3. Diseño Experimental

El diseño experimental aplicado fue de parcelas divididas, tomando como parcelas grandes a los cultivares Festival y Jacona; el número de tratamientos fue de seis, con tres repeticiones cada uno (Cuadro 3). La unidad experimental consistió en dos macetas. Se evaluaron: número de frutos, peso de fruto; peso seco de la parte aérea de la planta; estado nutricional de la planta. También se evaluaron las propiedades físicas y químicas de los sustratos y se obtuvieron sus curvas de liberación de humedad. Para el análisis estadístico se utilizó el Statistical Analysis System (SAS), realizándose los análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

Cuadro 3. Tratamientos evaluados en la investigación.

Tratamiento.	Sustrato.
1	Fibra de coco
2	Turba
3	Tezontle
4	Aserrín
5	70 % Tezontle + 30 % Turba
6	70 % Agrolita + 30 % Turba

4.4. Características Físicas de los Sustratos

La caracterización física de los sustratos, se realizó para los sustratos antes del ciclo del cultivo (sustrato inicial) y para el sustrato final después del ciclo del cultivo. Para el cálculo de las características físicas de los sustratos se utilizaron los datos tomados al someterlos a diferentes tenciones de columna de agua; es decir, se hicieron a la par con la obtención de datos para las curvas de liberación de humedad y la caracterización física de los sustratos. Abad *et al.* (2004) mencionan que el espacio poroso total es igual al volumen de agua a saturación; la capacidad de aireación es equivalente al volumen de agua drenado usualmente a 10 cm de tensión de columna, esto después de haber sido llevado a punto de saturación.

4.4.1. Densidad aparente

La densidad aparente se obtuvo de los embudos utilizados en las curvas de liberación de humedad; para lo cual se dividió el peso del suelo seco entre el volumen y la ecuación es:

$$D_a \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = P / V$$

Donde:

D_a : densidad aparente.

P : peso del sustrato seco.

V : el volumen aparente del sustrato.

4.4.2. Espacio poroso total o porosidad total

Para la cuantificación de la porosidad en base al peso y volumen, se emplearon los datos obtenidos en los embudos utilizados para las curvas de liberación de humedad y simplemente se dividió el volumen de agua a punto de saturación, entre el volumen del embudo y se multiplicó por 100. A continuación se muestra la ecuación mediante la cual se hizo el cálculo:

$$\text{EPT \%} = (VAS/VE) * 100$$

Donde:

EPT %: espacio poroso total en porcentaje.

VAS: volumen de agua a saturación.

VE: volumen del embudo

4.4.3. Capacidad de retención de humedad

Para la capacidad de retención de humedad se usaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{CRH (\%)} = \text{PT} - \text{CA}$$

$$\text{CRH (\%)} = (P_3 - P_1 / V) (100)$$

$$\text{CRH (\%)} = (V_1 - V_2 / V) (100)$$

Donde:

CRH %: capacidad de retención de humedad en porcentaje.

PT: Porosidad total

P₁: Peso del sustrato seco

P₃: Peso del sustrato después del drenaje

V: Volumen del sustrato

V₁: Volumen de saturación

V₂: Volumen drenado.

4.4.4. Capacidad de aireación

Una vez que se tienen los datos de espacio poroso total y capacidad de retención de humedad, el cálculo de la capacidad de aireación se realizó de la manera siguiente:

$$\text{CA \%} = \text{EPT \%} - \text{CRH \%}$$

Donde:

CA %: capacidad de aireación.

EPT: espacio poroso total o porosidad total.

CRH: capacidad de retención de humedad.

4.4.5. Curvas de liberación de humedad

Para realizar la caracterización de los sustratos, se colocaron muestras de los mismos previamente saturados en embudos con placas de cerámica; esto con la finalidad de aplicar tensiones equivalentes en columnas de agua a 0 cm (sustrato a punto de saturación), 10 cm (capacidad del contenedor), 50 cm (agua fácilmente disponible) y 100 cm (agua de reserva); que es el intervalo de las condiciones de humedad en que normalmente se cultivan las plantas en contenedor. Al transcurrir 24 horas a partir de que el sustrato fue sometido a las tensiones antes mencionadas, se puso a secar en la estufa a 105 °C durante 48 horas, obteniéndose el peso seco de la muestra.

Finalmente, es importante comentar que los cálculos del espacio poroso total, capacidad de retención de humedad, capacidad de aireación, agua fácilmente disponible y agua de reserva, se obtuvieron de acuerdo con los principios propuestos por De Boodt *et al.* (1974).

4.5. Evaluaciones Químicas

Para determinar los parámetros químicos, se puso el sustrato a punto de saturación durante 24 horas; posteriormente se le extrajo el agua, se filtró con papel filtro para poder medir los parámetros conductividad eléctrica (CE), para lo cual se utilizó un potenciómetro

E 1023 Digital Conductronic de mesa pH120 electrodo combinado y sensor de temperatura.

Los extractos de saturación obtenidos para la medición CE también fueron utilizados para estimar la concentración de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), sodio (Na), zinc (Zn) y boro (B).

La concentración del nitrógeno se realizó por el método microkjeldahl; la concentración de fósforo (P), potasio (K) calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn) y boro (B) se determinó en un espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por inducción acoplada (AES) de Varian.

4.6. Análisis del Tejido Vegetal

Para realizar este análisis se tomó la parte aérea de la planta. Esto con la finalidad de determinar la concentración de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), sodio (Na), zinc (Zn) y boro (B).

Las muestras fueron lavadas con agua de la llave y posteriormente dos veces con agua destilada, se introdujeron a la estufa a una temperatura de 70 °C con aire circulante hasta obtener un peso seco constante, el cual fue registrado y al final las muestras fueron molidas en un molino de acero inoxidable marca Arthur H. Thomas, con malla del número 20.

Los nutrimentos se determinaron pesando 0.5 g de muestra seca y molida de hojas, siendo sometida a una digestión húmeda con una mezcla di-ácida de ácido sulfúrico con ácido perclórico al 2:1 (v/v), de la que se agregaron 4 ml más 2 ml de peróxido de

hidrógeno al 30 %. Se colocaron las muestras en una plancha de digestión a una temperatura de 350 °C y al final fue aforada a 50 ml con agua destilada.

La estimación del nitrógeno se realizó por el método microkjeldahl, la concentración de fósforo (P), potasio (K) calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn) y boro (B), se determinó en un espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por inducción acoplada (AES) de Varian.

4.7. Fruto.

Para los cultivares Festival y Jacona evaluados, se contabilizo el número de frutos por tratamiento, cultivar y fecha de corte; el peso de frutos se estimó por tratamiento, cultivar y por fecha de corte usando una balanza digital marca OHAUS; además, se estimó el promedio del fruto por tratamiento.

V. RESULTADOS

5.1 Características Físicas de los Sustratos

5.1.1. Densidad aparente

Los resultados de la densidad aparente (DAP), se manejaron con base en el sustrato final y el sustrato inicial del ciclo del cultivo; en el primer caso, los tratamientos que tuvieron mayor DAP fueron el tezontle y la mezcla de 30 % turba + 70 % tezontle, seguidos por 30 % turba + 70 % agrolita, turba, aserrín y fibra de coco (Figura 1).

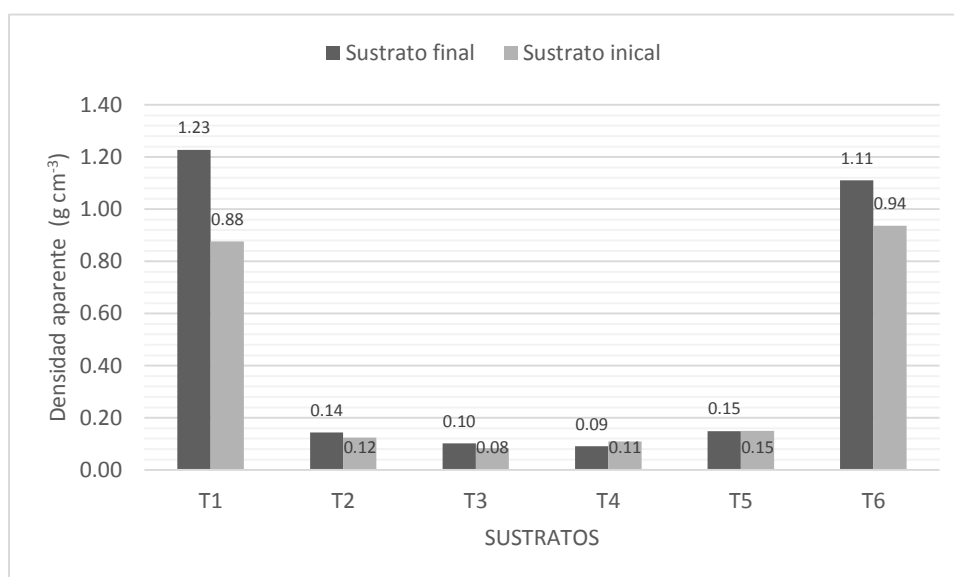


Figura 1. Densidad aparente promedio de los sustratos inicial y final evaluados en fresa cv. Jacona y Festival. T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle

En el sustrato inicial, se observaron las mismas tendencias, pues el orden decreciente es el siguiente: 30 % turba + 70 % tezontle, tezontle, 30 % turba + 70 % agrolita, turba, fibra de coco y aserrín. Es importante mencionar que comparando el sustrato inicial con el sustrato final se observó un aumento del valor en la DAP conforme se utilizan los sustratos, esto ocurrió en la mayoría de los casos a excepción de la mezcla 30 % turba + 70 % agrolita que mantuvo sin cambio esta característica física.

5.1.2. Espacio poroso total

En cuanto al espacio poroso total (EPT), se encontró que los resultados de volumen y peso son muy variables para los diferentes sustratos (Figura 2). Es por esto que los tratamientos con mayor EPT fueron la turba ya que en sustrato inicial alcanzó un valor del 95.53 % y de 78.26 % en sustrato final; aserrín con 89.20 % sustrato inicial y 85.2 % en sustrato final; en fibra de coco se registraron valores de 93.41 % en sustrato inicial y 85.41 % en su modalidad de sustrato final.

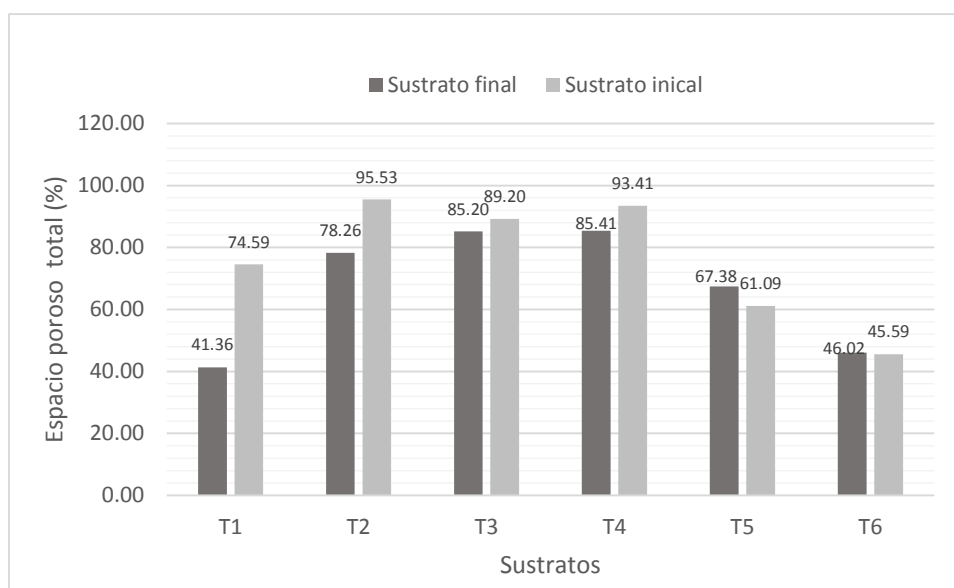


Figura 2. Promedio del espacio poroso total en los sustratos inicial y final evaluados en fresa cv. Festival y Jacona. T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle

Es importante mencionar que se observó una tendencia a disminuir el EPT cuando el sustrato ya ha sido utilizado, ya que en la mayoría de los resultados encontramos un menor porcentaje de esta característica física a excepción de las mezclas 30 % turba + 70 % agrolita y 30 % turba + 70 % tezontle en los que se observó un aumento en el EPT.

5.1.3 Capacidad de aireación

De acuerdo con los resultados obtenidos, el orden decreciente de los sustratos iniciales para la variable Capacidad de Aireación (CA), se conformaron de la siguiente manera: aserrín (62.38 %), tezontle (56.63 %), fibra de coco (26.64 %), turba (22.98 %), 30 % turba + 70% agrolita (12.72 %) y la mezcla de 30 % turba + 70 % tezontle (1.88 %).

En lo referente a la CA del sustrato final se observaron tendencias similares y el orden decreciente quedo de la siguiente manera: aserrín (38.15 %) y fibra de coco (25.24 %); tezontle (15.98 %), turba (13.84 %) y 30 turba + 70 % agrolita (10.42 %); la mezcla con 30 turba + 70 % tezontle (7.95 %). Es importante mencionar que en las comparaciones entre sustrato inicial y sustrato final se observó una disminución considerable en la capacidad de aireación para el sustrato al final del ciclo de cultivo, con excepción de 30 % turba + 70 % tezontle (Figura 3).

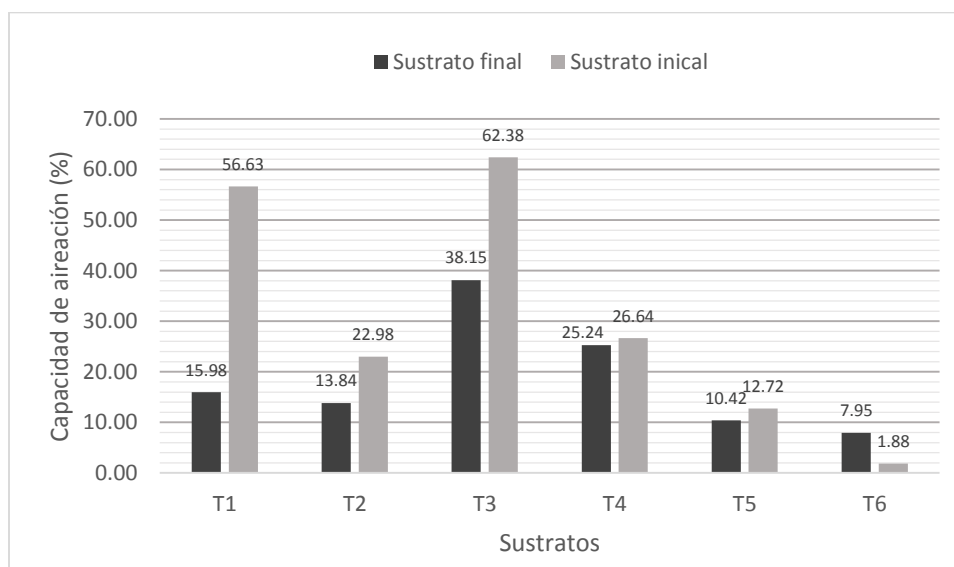


Figura 3. Capacidad de aireación promedio en los sustratos inicial y final evaluados en fresa cv. Festival y Jacona. T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle

5.1.4. Capacidad de retención de humedad

Los resultados indican que en los sustratos iniciales, la capacidad de retención de humedad (CRH) tuvo un valor más alto en la turba (77.45 %), seguido de fibra de coco (72.24 %), mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita (51.57 %), 30 % turba + 70 % tezontle (45.62 %), aserrín (31.79 %) y tezontle (17.96 %) que fue el que menor CRH presento. En cuanto a sustratos finales, la turba fue el que mayor CRH presentó (65.34 %), seguido en orden decreciente por la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita (58.43 %), fibra de coco (57.45 %), aserrín (45.08 %) y tezontle (25.37 %). Hay que enfatizar el hecho de que los sustratos de tezontle, aserrín y la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita mostraron un aumento en la CRH en el sustrato final, caso contrario al de la turba, fibra de coco y la mezcla de 30 % turba + 70 % tezontle que presentaron una disminución de la misma (Figura 4).

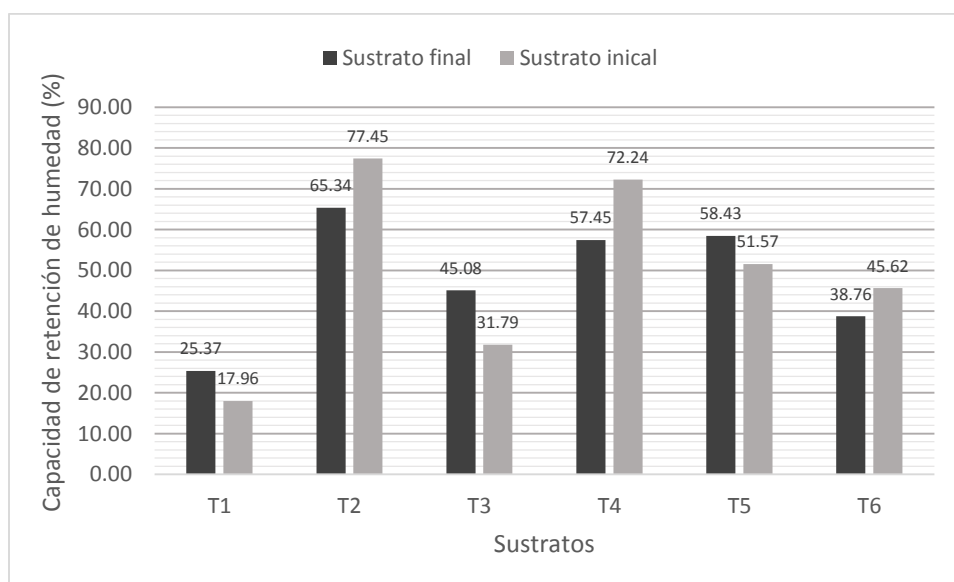


Figura 4. Promedio de la capacidad de retención de humedad en los sustratos inicial y final evaluados en fresa cv. Festival y Jacona. T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle

5.2 Características Hídricas de los Sustratos

5.2.1. Agua fácilmente disponible

La fibra de coco (24.68 %), turba (23.05 %) y la mezcla de 30 % turba +70 % agrolita (22.72 %) fueron los sustratos que mejor resultado mostraron (Cuadro 4) para la variable de agua fácilmente disponible (AFD), además de que son iguales estadísticamente; en la misma evaluación, se tiene a la mezcla de 30 % turba + 70 tezontle (17.29 %) y aserrín (16.36 %) y por último el tezontle (8.48 %).

Comparando los sustratos de tezontle inicial y tezontle final (Figura 6), se observó que el tezontle inicial tan sólo tiene una AFD de 1.8 % que es menor que la presentada por el tezontle final 8.79 % (Figura 5); del mismo modo, en 30 % turba + 70 % agrolita en el sustrato inicial (Figura 14) encontramos una AFD de 7.9 y en el sustrato final (Figura 13) tenemos un porcentaje de 25.1. El aserrín se comportó de manera similar pues el sustrato inicial (Figura 10) tuvo una valor del 13 % que fue menor, comparado con el 18 % del sustrato final (Figura 9). La tendencia en los sustratos restantes fue la contraria, como es el caso de la turba que disminuyó su AFD de 20.12 % en el sustrato final (Figura 7) ya que en el sustrato inicial (Figura 8) tenía 28.9 %; la fibra de coco en el sustrato inicial (Figura 12) tenía un porcentaje de 35.8 que se redujo en el sustrato final (Figura 11) a 19.1 %.

Cuadro 4. Disponibilidad de humedad en los sustratos evaluados en fresa cv. Festival y Jacona.

Tratamiento	AFD	AR	ADD	ATD
		%		
Tezontle	8.48 ^c	2.38 ^d	12.03 ^e	10.87 ^d
Turba	23.05 ^a	8.72 ^b	36.56 ^a	31.77 ^b
Aserrín	16.36 ^b	7.44 ^b	18.85 ^d	23.81 ^c
Fibra de coco	24.68 ^a	12.23 ^a	27.50 ^b	36.91 ^a
30 % Turba + 70 % Agrolita	22.72 ^a	7.47 ^b	23.80 ^c	30.19 ^b
30 % 6 Turba+ 70 % tezontle	17.29 ^b	5.20 ^c	18.47 ^d	22.50 ^c
DMSH	2.52	2.19	2.12	3.05
CV (%)	9.38	21.11	6.47	8.19

AFS: agua fácilmente disponible; AR: agua de reserva; ADD: agua difícilmente disponible; ATD: agua total disponible. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$)

5.2.2. Agua de reserva.

La mayoría de los porcentajes de agua de reserva (AR) registrados en nuestro experimento presentaron una diferencia significativa en la comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$), siendo la fibra de coco la que presentó un porcentaje (12.23 %) más elevado en comparación con los otros sustratos, siguiéndole la turba (8.72 %), 30 % turba+70 % agrolita (7.47 %), aserrín (7.44 %) y 30 % turba+70 % tezontle y el sustrato que exhibió menor valor fue el tezontle (2.38 %).

El agua de reserva (AR) en tezontle presentó un porcentaje de 1.80 % en sustrato inicial (Figura 6) y de 2.60 en el sustrato final (Figura 5), lo que significa que encontramos un aumento de esta propiedad hídrica de los sustratos; se observó la misma tendencia en la turba, pues en el sustrato inicial (Figura 8) tenía 7.16 % de AR y en el sustrato final (Figura 7) presentó un porcentaje de 9.49. El aserrín manifestó valores contrarios pues el

sustrato inicial (Figura 10) presentó un valor de 9.90 % mientras que en el sustrato final (Figura 9) obtuvimos un valor del 7.80 %;

La fibra de coco exhibió comportamiento similar, pues el sustrato inicial (Figura 12) fue del 13.30 % y en el sustrato final (Figura 11) mostró un valor del 11.60 %. En la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita, el sustrato inicial (Figura 14) arrojó un resultado de 8.00 % de AR mientras que en el sustrato final (Figura 13) encontramos un porcentaje de 7.80 %. Encontramos la misma tendencia en la mezcla de 30 % turba + 70 % tezontle, pues el sustrato inicial (Figura 16) presentó un porcentaje de 7.20 % y en el sustrato final (Figura 15) fue de 4.20 % lo cual indica una disminución del AR.

5.2.3. Agua total disponible

Para la variable agua total disponible (ATD) se encontraron diferencias significativas en la comparación de medias, teniendo en el valor más elevado a la fibra de coco (36.91 %) seguido por la turba (31.77 %), 30 % turba + 70 % agrolita (30.19 %), aserrín (23.81 %) y 30 % turba + 70 % tezontle (22.50 %) y tezontle (10.87 %).

El tezontle presentó una disminución del agua total disponible (ATD) importante y esto lo podemos notar comparando las curvas de liberación de humedad de las Figura 5 y 6 en las cuales se presentan valores de 74.50 % para sustrato inicial y 41.30 % en el sustrato final, lo que significa una disminución del 33.20 % de ATD. En concreto, la disminución del porcentaje de ATD se presentó de la siguiente manera: turba 17.30 %, aserrín 3.90 % y fibra de coco 8 %. Sólo las mezclas presentaron un aumento en el ATD.

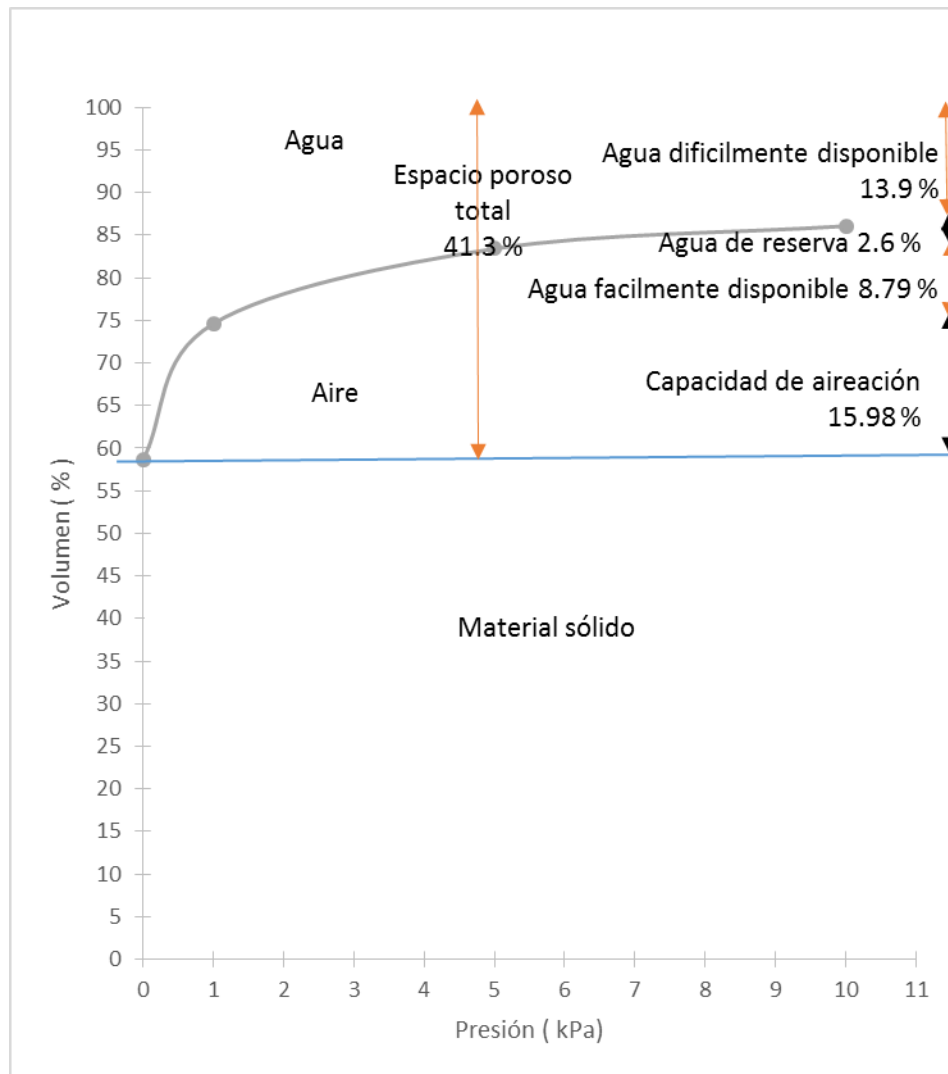


Figura 5. Curva de liberación de humedad para el sustrato final de tezontle utilizado en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

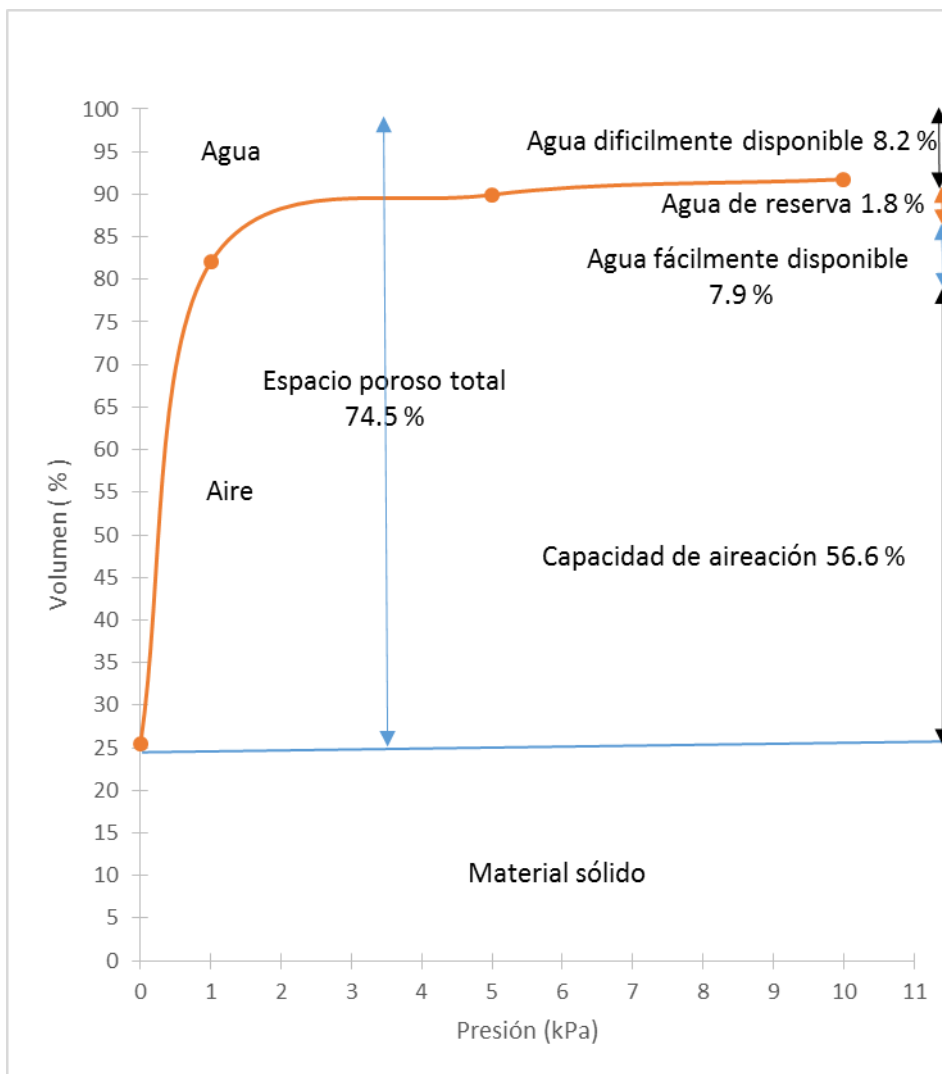


Figura 6. Curva de liberación de humedad para el sustrato inicial de tezontle utilizado al momento del establecimiento del cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

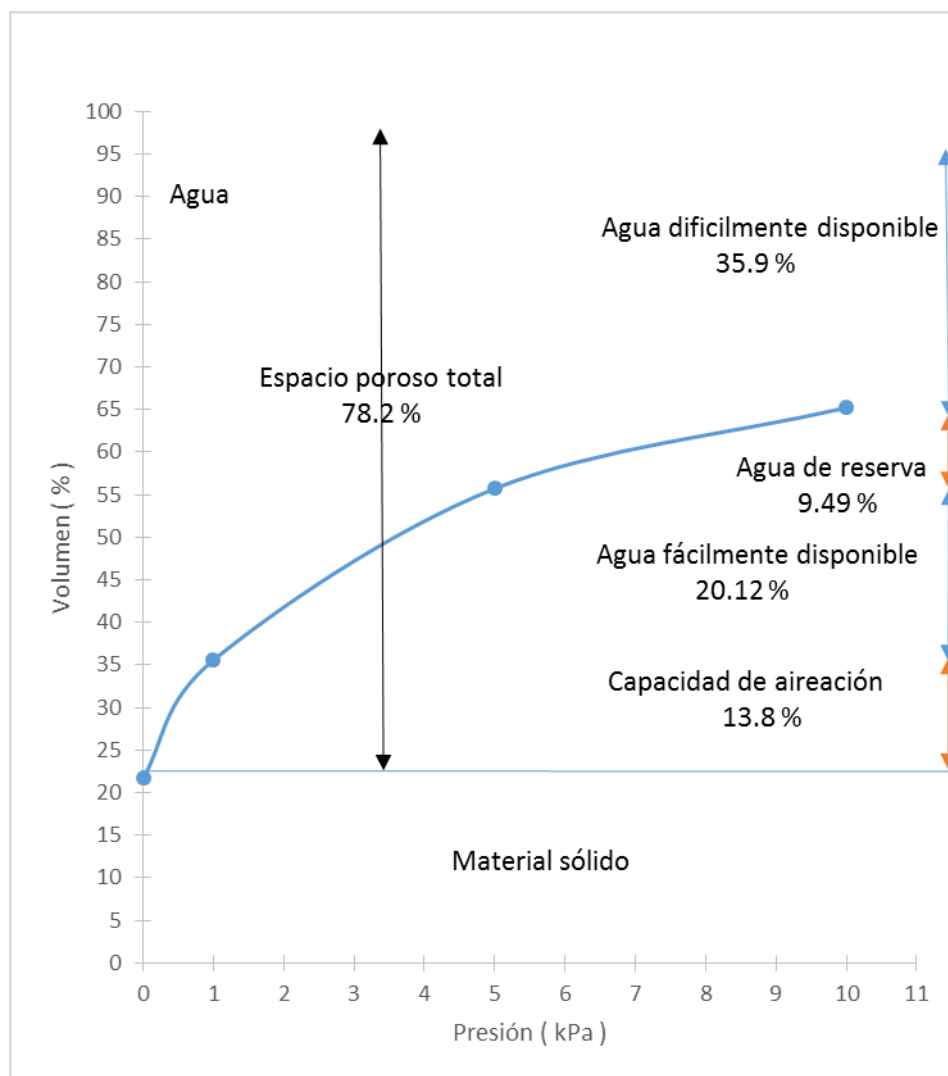


Figura 7. Curva de liberación de humedad para el sustrato final de turba utilizado en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

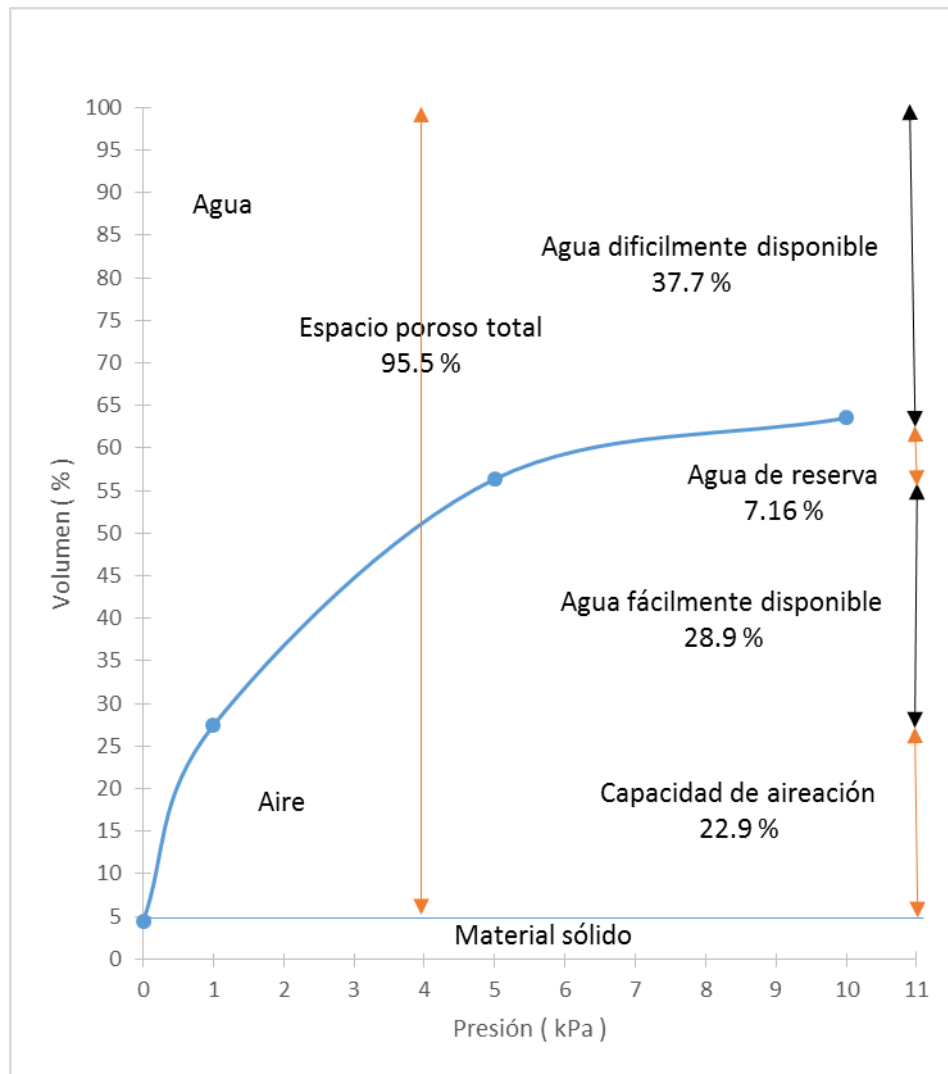


Figura 8. Curva de liberación de humedad para el sustrato inicial de turba utilizado al momento del establecimiento del cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

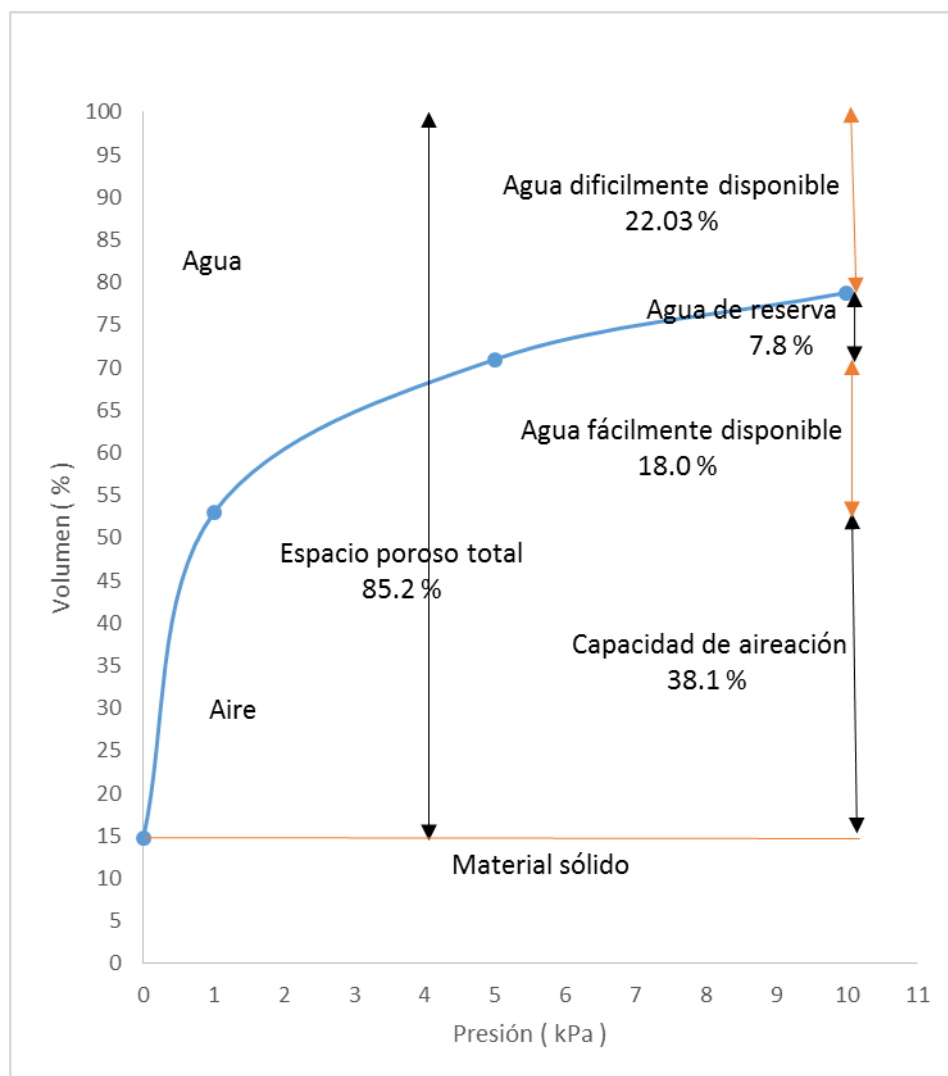


Figura 9. Curva de liberación de humedad para el sustrato final de aserrín utilizado en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

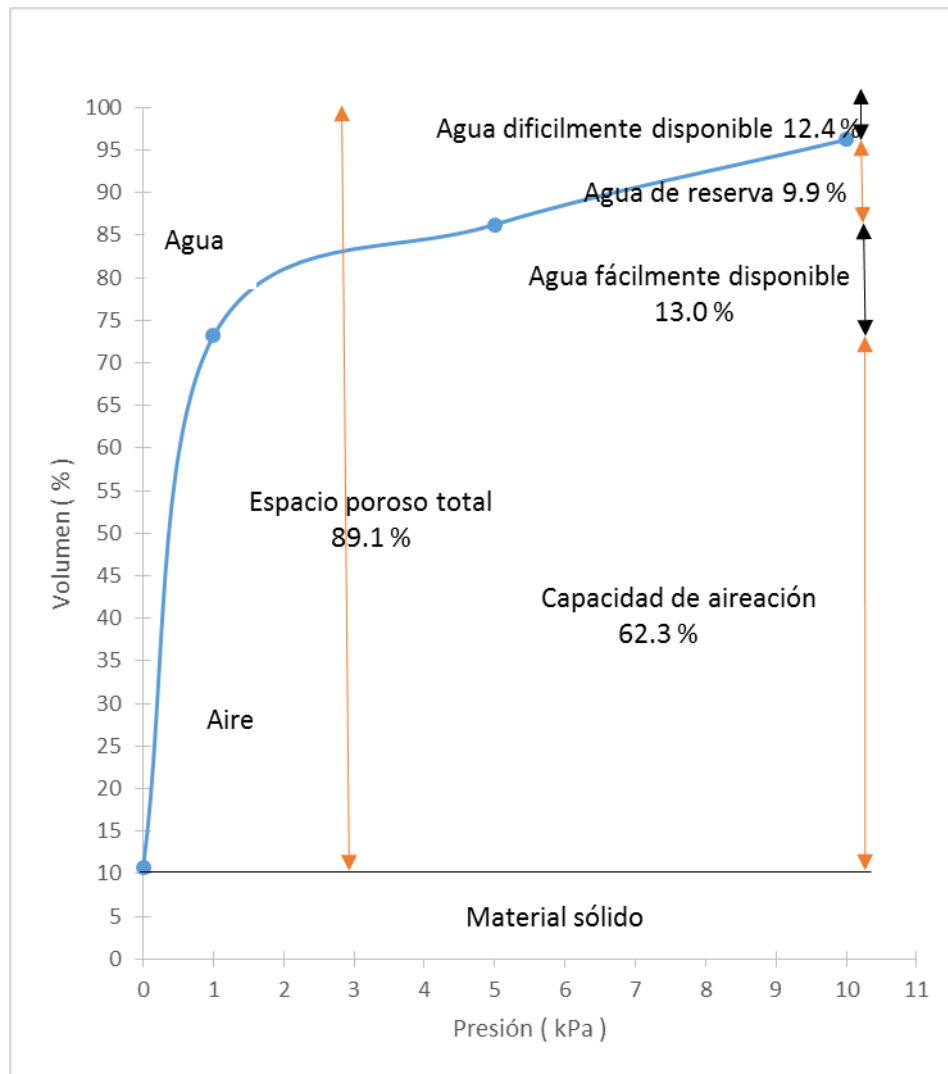


Figura 10. Curva de liberación de humedad para el sustrato inicial de aserrín utilizado al momento del establecimiento del cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

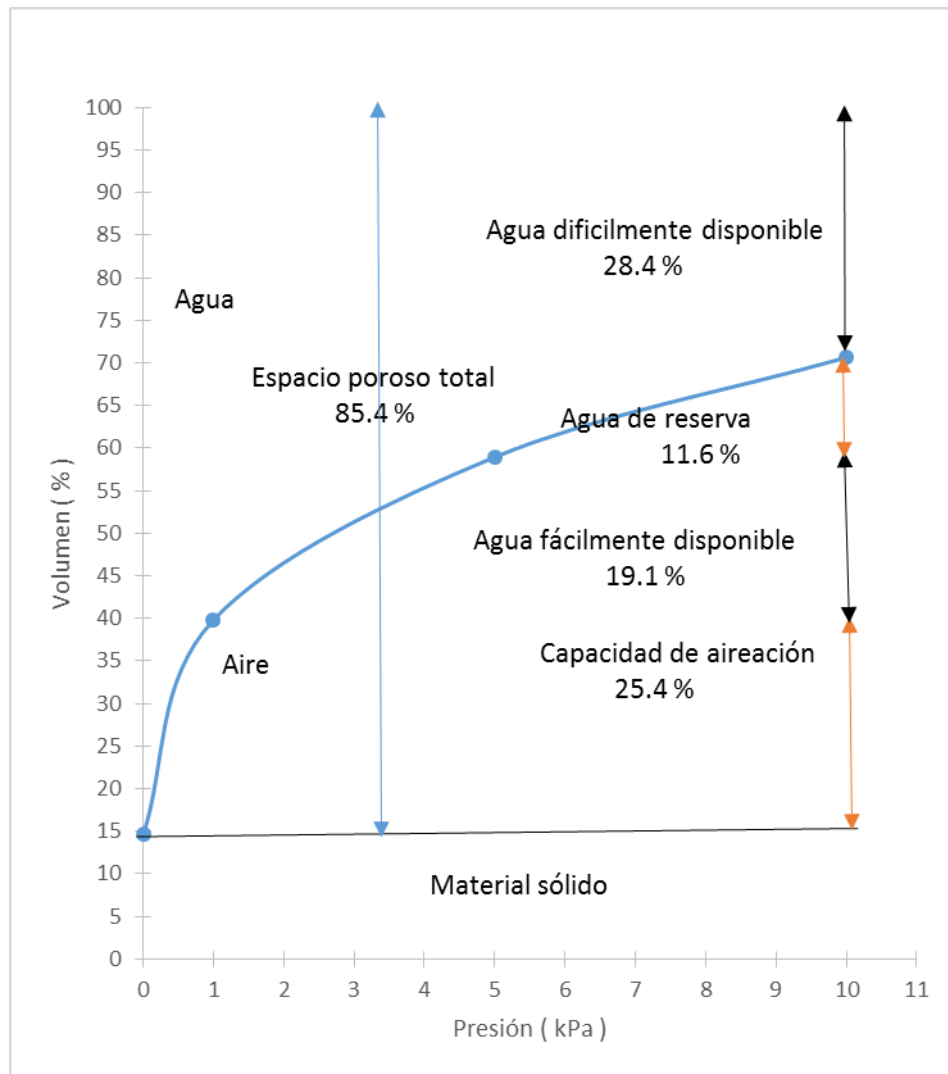


Figura 11. Curva de liberación de humedad para el sustrato final de fibra de coco utilizado en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

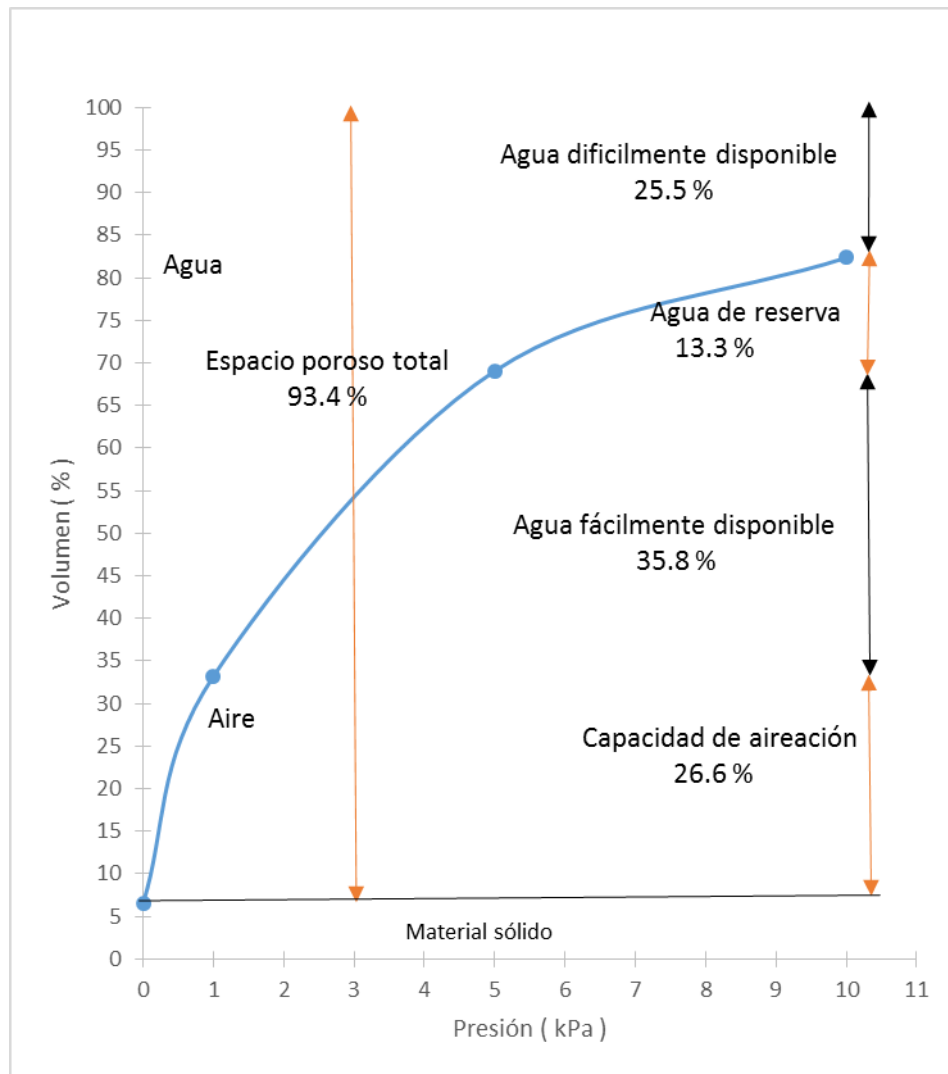


Figura 12. Curva de liberación de humedad para el sustrato inicial de fibra de coco utilizado al momento del establecimiento del cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

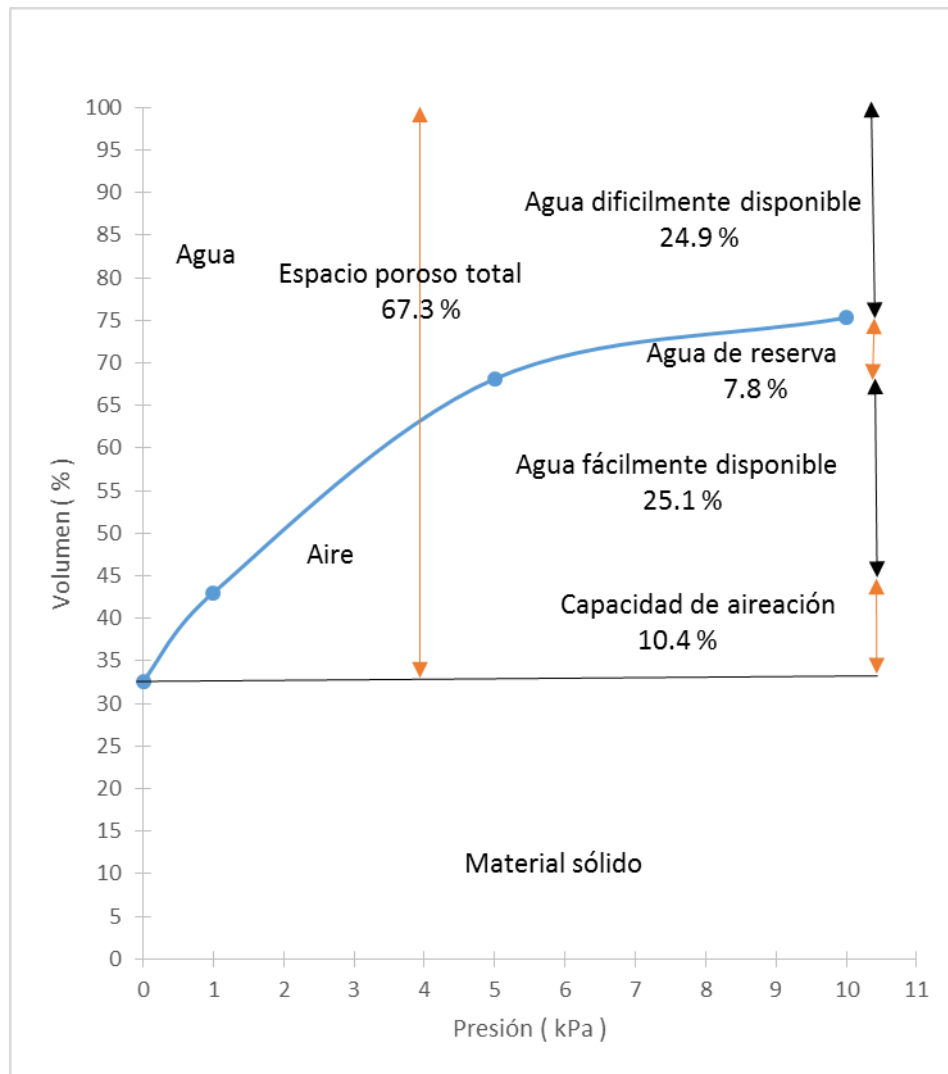


Figura 13. Curva de liberación de humedad para el sustrato final de la mezcla 30 % turba + 70 % agrolita utilizado en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

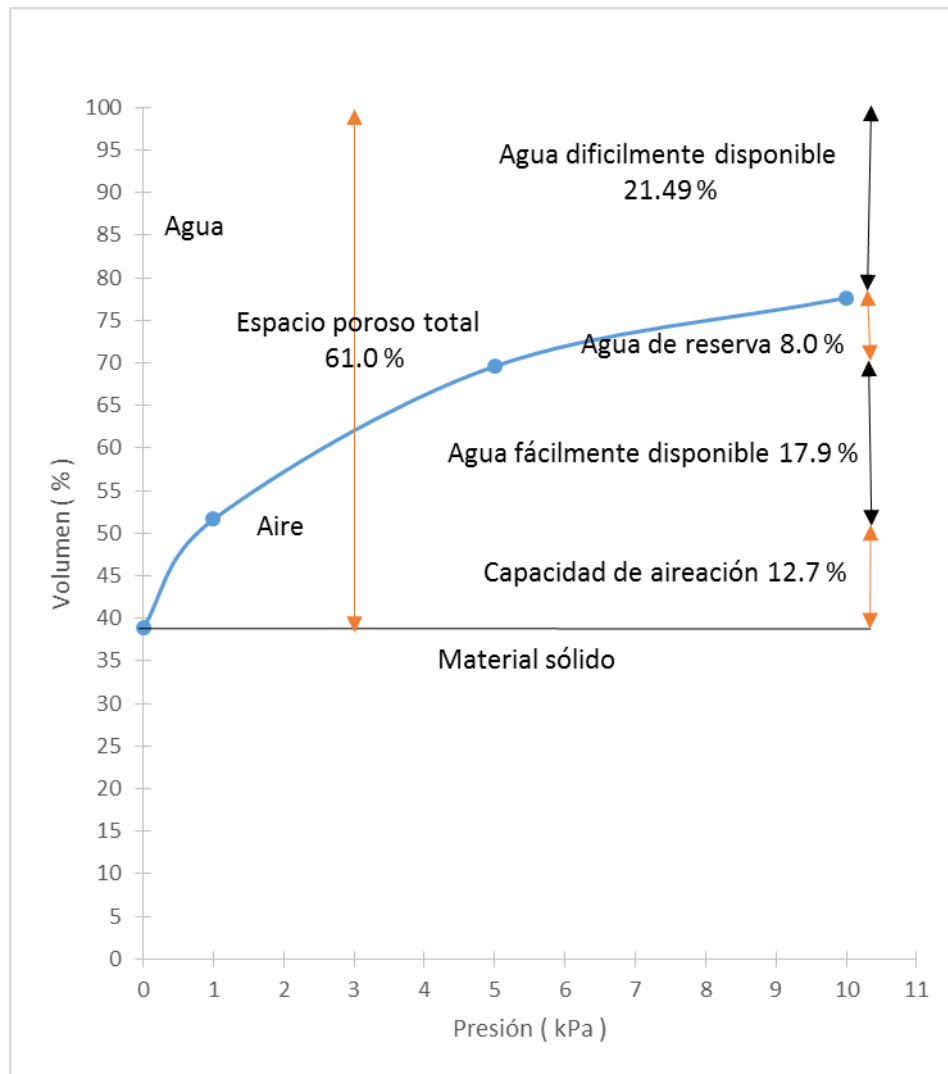


Figura 14. Curva de liberación de humedad para el sustrato inicial de la mezcla 30 % turba + 70 % agrolita utilizado al momento del establecimiento del cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

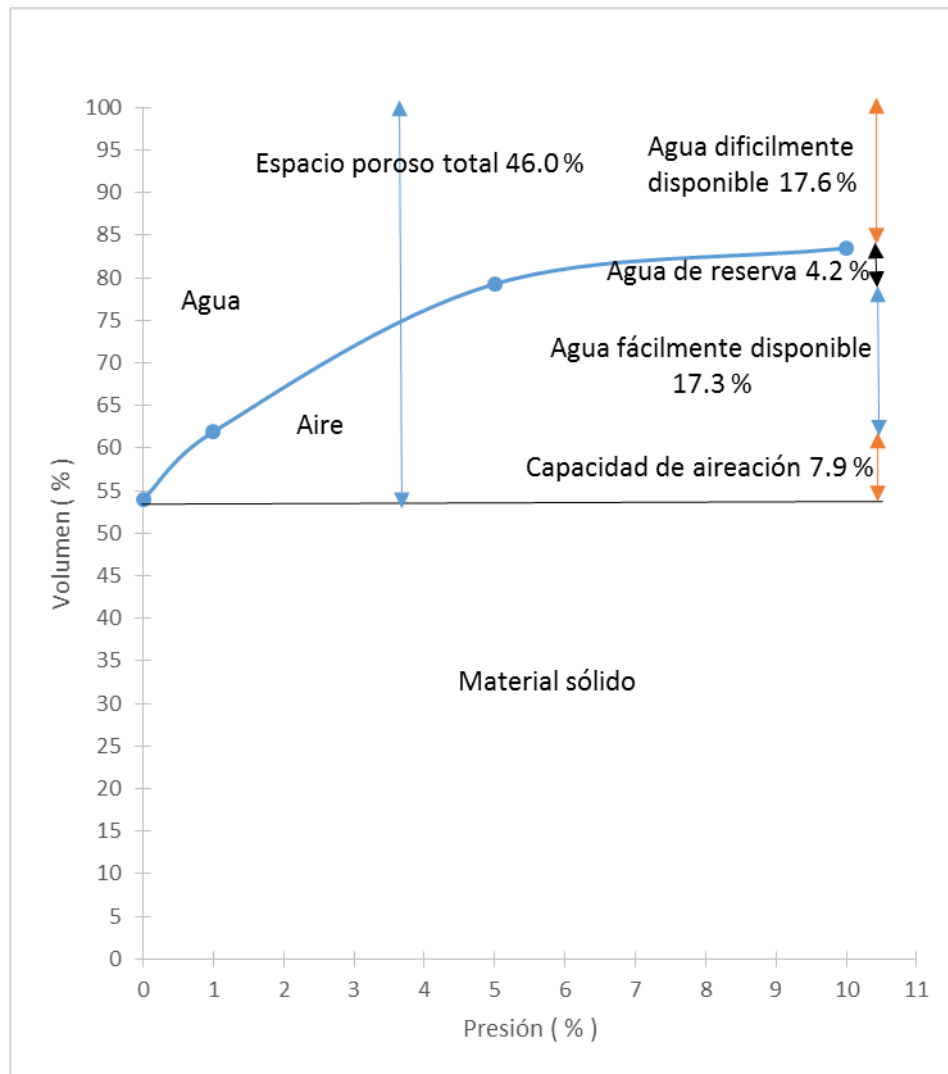


Figura 15. Curva de liberación de humedad para el sustrato final de la mezcla 30 % turba + 70 % tezontle utilizado en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

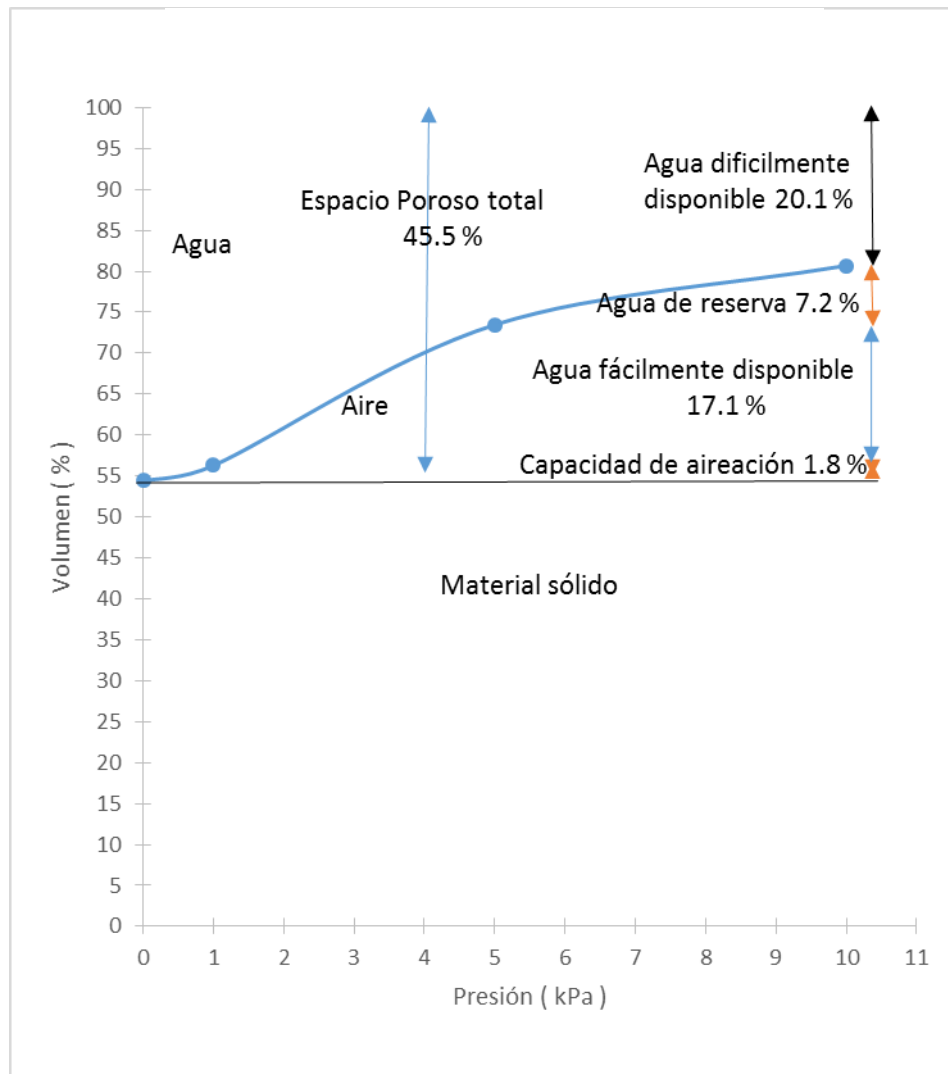


Figura 16. Curva de liberación de humedad para el sustrato inicial de la mezcla 30 % turba + 70 % tezontle utilizado al momento del establecimiento del cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

5.3. Características Químicas de los Sustratos

5.3.1. Conductividad eléctrica

En la variable conductividad eléctrica medida en los extractos de saturación de los sustratos finales (CE) no se encontraron diferencias significativas entre los cultivares Jacona (2.07 dS m⁻¹) y Festival (1.74 dS m⁻¹) (Cuadro 5).

Dentro de cada tratamiento, también resultaron diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 6), siendo las CE de los sustratos finales más elevadas en la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita (3.63 dS m⁻¹) y turba (3.08 dS m⁻¹) seguido por aserrín (1.30 dS m⁻¹), 30 % turba + 70 % tezontle (1.20 dS m⁻¹), tezontle (1.11 dS m⁻¹) y fibra de coco (1.11 dS m⁻¹).

Cuadro 5. Valores promedio conductividad eléctrica de los sustratos finales utilizados en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.

CULTIVAR	C.E. dS·m ⁻¹
Festival	1.74 ^a
Jacona	2.07 ^a
DMSH	0.45
CV (%)	15.96

C. E: conductividad eléctrica; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P ≤0.05)

Cuadro 6. Valores promedio conductividad eléctrica por tratamiento evaluados en los sustratos finales utilizados en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.

Tratamiento	C. E. dS m ⁻¹
Tezontle	1.11 ^b
Turba	3.08 ^a
Aserrín	1.30 ^b
Fibra de coco	1.11 ^b
30 % Turba + 70 % agrolita	3.63 ^a
30 % Turba+ 70 % tezontle	1.20 ^b
DMSH	0.55
CV (%)	15.96

C. E.: Conductividad eléctrica; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$)

5.4. Contenido de Macronutrientes en los Sustratos Empleados

5.4.1. Nitrógeno

En los cultivares, se encontraron diferencias significativas en la comparación de medias para la concentración de nitrógeno en el sustrato final, siendo el cultivar Jacona la que presentó una concentración mayor de nitrógeno en el sustrato final (Cuadro 7).

Dentro de los tratamientos, también se encontraron diferencias significativas para la concentración de nitrógeno en el sustrato (Cuadro 8) y los resultados se presentan en orden decreciente: tezontle (19.83 ppm), 30 % turba + 70 % agrolita (17.20 ppm), turba (16.36 ppm), aserrín (14.26 ppm), 30 % turba + 70 % tezontle (7.96) y fibra de coco (7.35 ppm).

5.4.2. Fósforo

Entre los cultivares, se encontró diferencia significativa en la comparación de medias para la variable concentración de fósforo en el sustrato final (Cuadro 7), siendo el sustrato de 'Festival' el que presentó mayor concentración de este elemento (0.34 ppm) seguido por 'Jacona' (0.25 ppm).

Dentro de los tratamientos, encontramos diferencias significativas en la comparación de medias para la concentración de fósforo en el sustrato final (Cuadro 8), el tratamiento que presentó mayor concentración de este elemento fue el aserrín (0.59 ppm) seguido por fibra de coco (0.45 ppm), turba (0.36 ppm), 30 % turba + 70 % agrolita (0.21 ppm), 30 % turba + 70 % tezontle (0.12 ppm) y por último el tezontle en el que no se detectó este elemento.

Cuadro 7. Concentraciones promedio de macronutrientes en extracto de saturación de los sustratos finales utilizados en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.

CULTIVAR	N	P	K	Ca	Mg	Na
			ppm			
Festival	11.73 ^a	0.34 ^a	50.16 ^b	73.60 ^b	51.31 ^b	110.05 ^b
Jacona	15.92 ^a	0.25 ^b	56.05 ^a	104.39 ^a	70.28 ^a	125.32 ^a
DMSH	4.61	0.04	4.12	19.75	4.98	7.11
CV (%)	22.30	20.88	7.14	14.79	10.50	6.67

N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$)

5.4.3. Potasio

La comparación de medias para la concentración de potasio en el sustrato final (Cuadro 7), arrojó diferencias significativas entre cultivares, siendo el sustrato de 'Jacona' el que

obtuvo un valor más alto de este elemento (56.05 ppm) seguido por el sustrato de 'Festival' (50.16 ppm).

En la comparación de medias se encontraron diferencias significativas para el contenido de potasio en el sustrato final (Cuadro 8), mostrando mayores concentraciones los tratamientos de 30 % turba + 70 % agrolita (99.30 ppm) y turba (98.98 ppm), seguidos por fibra de coco (34.03 ppm), 30 % turba + 70 % tezontle (32.38 ppm), aserrín (32.29 ppm) y tezontle (21.62 ppm).

5.4.4. Calcio

Entre los cultivares Jacona (104.39 ppm) y Festival (73.60 ppm), se encontraron diferencia significativa en la comparación de medias para la concentración de calcio en el sustrato final, siendo el sustrato del cultivar Jacona la que obtuvo mayor concentración que 'Festival' (Cuadro 7).

La comparación de medias para el contenido de calcio en el sustrato final presentó diferencias significativas dentro de los tratamientos (Cuadro 8), la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita fue la que mayor concentración de este elemento presentó (179.3 ppm), consecutivo de turba (148.4 ppm), aserrín (79.4 ppm), 30 % turba + 70 % tezontle (59.8 ppm), tezontle (46 ppm) y fibra de coco (20.9 ppm).

5.4.5. Magnesio

Dentro de los cultivares (Cuadro 7), se encontró diferencia significativa en la comparación de medias para el contenido de magnesio en el sustrato final, siendo el del cultivar Jacona

el que mayor concentración de este elemento presentó (70.28 ppm) y el sustrato de 'Festival' obtuvo una concentración de 51.31 ppm.

La comparación de medias para la concentración de magnesio en el sustrato (Cuadro 8), obtuvo diferencias significativas dentro de los tratamientos; a continuación, se presenta el orden decreciente de los resultados: 30 % turba + 70 % agrolita (125.80 ppm), turba (108.00 ppm), aserrín (44.50 ppm), 30 % turba + 70 % tezontle (32.7 ppm), fibra de coco (30.6 ppm) y tezontle (22.9 ppm).

5.4.6. Sodio

La concentración de sodio en el sustrato final, presentó diferencias significativas en la comparación de medias, mostrando un valor más elevado en los sustratos donde se estableció el cultivar Jacona, ya que se encontró una concentración de 125.32 ppm de este elemento seguido por el sustrato donde se estableció el cultivar Festival con una concentración de 110.05 ppm (Cuadro 7). La comparación de medias de esta variable, también reflejó diferencias significativa entre los tratamientos (Cuadro 8), pues el sustrato final de turba alcanzó una concentración de 239.00 ppm, 30 % turba + 70 % agrolita, 224.50 ppm; fibra de coco, 68.70 ppm; aserrín, 67.30 ppm; 30 % turba + 70 % tezontle, 63.3 ppm, y por último el tezontle con 42.90 ppm.

Cuadro 8. Concentración promedio de macronutrientes en extracto de saturación de los sustratos finales utilizados en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Na
	ppm					
Tezontle	19.83 ^a	ND	21.62 ^c	46.0 ^d	22.9 ^d	42.9 ^d
Turba	16.36 ^a	0.36 ^b	98.98 ^a	148.4 ^b	108.0 ^b	239.0 ^a
Aserrín	14.26 ^a	0.59 ^a	32.29 ^b	79.4 ^c	44.5 ^c	67.3 ^c
Fibra de coco	7.35 ^b	0.45 ^b	34.03 ^b	20.9 ^e	30.6 ^d	68.7 ^c
30 % Turba + 70 % agrolita	17.20 ^a	0.21 ^c	99.30 ^a	179.3 ^a	125.8 ^a	224.5 ^b
30 % 6 Turba+ 30 % tezontle	7.96 ^b	0.12 ^c	32.38 ^b	59.8 ^{cd}	32.7 ^d	63.3 ^c
DMSH	5.59	0.11	6.88	23.8	11.5	14.2
CV (%)	22.30	20.88	7.14	14.79	10.50	6.67

ND: no detectado; N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$)

5.5. Contenido de Micronutrientes en los Sustratos

5.5.1. Hierro

La concentración de hierro en los sustratos finales mostraron diferencias significativas en la comparación de medias (Cuadro 9), obteniendo un valor más elevado en los sustratos del cultivar Festival con 0.12 ppm de este elemento seguido por 'Jacona' con 0.09 ppm. Dentro de los tratamientos (Cuadro 10), también encontramos diferencias significativas y presentamos los resultados en orden decreciente: turba 0.18 ppm; 30 % turba + 70 % agrolita 0.17 ppm; 30 % turba + 70 % tezontle 0.12 ppm; aserrín 0.11 ppm; tezontle y fibra de coco presentaron resultados iguales con 0.01 ppm cada uno.

Cuadro 9. Concentración promedio de micronutrientes en extracto de saturación de los sustratos finales utilizados en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.

CULTIVAR	Fe	Mn	Zn	B
	Ppm			
Festival	0.12 ^a	0.10 ^a	0.05 ^a	0.04 ^a
Jacona	0.09 ^a	0.08 ^b	0.03 ^a	0.02 ^a
DMSH	0.03	0.01	0.08	0.02
CV (%)	31.17	38.53	91.54	59.17

Fe: hierro; Mn: manganeso; Zn: zinc; B: boro; ppm: partes por millón; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$)

5.5.2. Manganeso

La concentración de manganeso en los sustratos finales (Cuadro 9) no presentó diferencias significativas entre los cultivares.

Dentro de los tratamientos, encontramos diferencias significativas en la comparación de medias para la concentración de manganeso en el sustrato final, encontrando al aserrín como sustrato que obtuvo mayores resultados (0.52), seguido por la mezcla 30 % turba + 70 % tezontle (0.03 ppm), turba (0.01 ppm) y los sustratos de tezontle, 30 % turba + 70 % agrolita y fibra de coco no se detectaron valores para la concentración de este elemento en el sustrato (Cuadro 10).

Cuadro 10. Concentración promedio de micronutrientos en extracto de saturación de los sustratos finales utilizados en el cultivo de fresa cv. Festival y Jacona.

Tratamiento	Fe	Mn	Zn	B
			ppm	
Tezontle	0.01 ^c	N. D.	0.01 ^a	0.05 ^b
Turba	0.18 ^a	0.01 ^b	0.05 ^a	0.001 ^c
Aserrín	0.11 ^b	0.52 ^a	0.08 ^a	0.09 ^a
Fibra de coco	0.01 ^c	N. D.	0.08 ^a	0.03 ^{bc}
30 % Turba + 70 % agrolita	0.17 ^a	N. D.	0.01 ^a	N D
30 % 6 Turba+ 30 % tezontle	0.12 ^{ab}	0.03 ^b	0.01 ^a	0.01 ^c
DMSH	0.05	0.07	0.07	0.03
CV (%)	31.17	38.53	91.54	59.17

N.D.: no detectado; Fe: hierro; Mn: manganeso; Zn: zinc; B: boro; ppm: partes por millón; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación; N.D.: no detectado. Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$)

5.5.3. Zinc

La concentración de zinc en los sustratos finales (Cuadro 9) no mostró diferencias significativas en la comparación de medias por cultivar ni por tratamiento.

5.5.4. Boro

Entre los cultivares (Cuadro 9), se encontraron diferencias significativas en la comparación de medias para la concentración de boro en los sustratos finales obteniendo mayor concentración 'Festival' con 0.04 ppm seguido de 'Jacona' con 0.02 ppm del elemento. Dentro de los tratamientos (Cuadro 10) también se encontró diferencia significativa para la concentración de boro en el sustrato final presentando mayores valores los sustratos de aserrín (0.09 ppm) y tezontle (0.05), seguido por fibra de coco (0.03 ppm), 30 % turba + 70 % tezontle (0.01 ppm) y turba (0.001 ppm), la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita no presentó valores para boro contenido en el sustrato.

5.6. Concentración Nutricional en Hojas

5.6.1 Nitrógeno

Los cultivares de fresa no tuvieron diferencias significativas en la concentración de nitrógeno (Cuadro 11). Entre los tratamientos que presentaron mayor concentración de este elemento en hojas son la mezcla de 30 % turba +70 % tezontle (1.0 %) seguido por 30 % turba +70 % agrolita (0.96 %), turba (0.85 %), tezontle (0.84 %) y aserrín (0.82 %); el tratamiento que tuvo la menor concentración de este elemento fue fibra de coco con 0.79 % (Cuadro 12).

Cuadro 11. Peso seco y concentración promedio de macronutrientes en hojas de fresa cv. Festival y Jacona.

CULTIVAR	Ps g	N	P	K	Ca %	Mg	Na
Festival	8.04 ^a	0.89 ^a	0.34 ^a	0.63 ^a	0.72 ^a	0.60 ^a	0.24 ^a
Jacona	8.91 ^a	0.87 ^a	0.36 ^a	0.60 ^a	0.56 ^b	0.55 ^a	0.21 ^a
DMSH	1.22	0.07	0.07	0.11	0.12	0.20	0.04
CV (%)	9.91	12.9	11.6	12.5	10.9	9.6	13.6

Ps: Peso seco; N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$)

5.6.2 Fósforo

En la comparación de medias no se encontraron diferencias significativas entre los cultivares respecto a la concentración de fósforo en hojas (Cuadro 11). Se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos (Cuadro 12), las plantas que presentaron mayor concentración de fósforo en hojas fueron las establecidas en la mezcla 30 % turba +70 % tezontle ya que presentaron una concentración de 0.55 %, seguido por las de la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita con 0.38 %, las de turba con 0.35 % y los últimos

tratamientos que son estadísticamente iguales entre sí fueron con aserrín (0.29 %), tezontle (0.28 %) y fibra de coco (0.26 %)

5.6.3. Potasio

Entre los cultivares no se observaron diferencias significativas en la comparación de medias para la concentración de potasio en hojas (Cuadro 11). Dentro de los tratamientos (Cuadro 12) se encontraron diferencias significativas en la concentración de este macronutriente, la turba (0.73 %) fue la que presentó mayor concentración de este elemento seguida por fibra de coco (0.67 %), 30 % turba + 70 % agrolita (0.65 %) y tezontle (0.60 %); en la concentración de potasio, los tratamientos que obtuvieron más bajos resultados fueron aserrín (0.55 %) y 30 % turba +70 % tezontle (0.54 %)

5.6.4. Calcio

Dentro de los cultivares (Cuadro 11), se encontraron diferencias significativas en la comparación de medias para la concentración de calcio en hojas, siendo 'Festival' (0.72 %) la que presentó porcentajes mayores y 'Jacona' (0.56 %) la que obtuvo menor concentración. Dentro de los tratamientos (Cuadro 12), las plantas establecidas en la mezcla 30 % turba +70 % tezontle (0.86 %) y aserrín (0.75 %) mostraron mayor concentración de este elemento, después encontramos al tezontle (0.64 %), seguido por turba (0.54 %) y 30 % turba +70 % agrolita (0.58 %); por último se encuentra la fibra de coco (0.51 %).

5.6.5 Magnesio

Los cultivares de fresa no tuvieron efecto en la concentración de magnesio (Cuadro 11). En los tratamientos (Cuadro 12), se encontró diferencia significativa en la comparación de medias para la concentración de este elemento en la planta. Las plantas del tratamiento con la mezcla 30 % turba + 70 % tezontle (0.73 %) fueron las que presentaron mayor concentración, en los demás tratamientos no se encontraron diferencias estadísticas.

Cuadro 12. Peso seco y concentración promedio de macronutrientes por tratamiento en hojas de fresa cv. Festival y Jacona

Tratamiento	PS g	N	P	K %	Ca	Mg	Na
Tezontle	9.55 ^b	0.84 ^{ab}	0.28 ^{cd}	0.60 ^{ab}	0.64 ^{bc}	0.57 ^b	0.24 ^{ab}
Turba	11.71 ^a	0.85 ^{ab}	0.35 ^{bc}	0.73 ^a	0.54 ^{cd}	0.58 ^b	0.24 ^{ab}
Aserrín	3.033 ^c	0.82 ^{ab}	0.29 ^{cd}	0.55 ^b	0.75 ^{ab}	0.52 ^b	0.18 ^b
Fibra de coco	3.25 ^c	0.79 ^b	0.26 ^d	0.67 ^{ab}	0.51 ^d	0.49 ^b	0.24 ^{ab}
30 % Turba + 70 % Agrolita	12.3 ^a	0.96 ^{ab}	0.38 ^b	0.65 ^{ab}	0.58 ^{cd}	0.56 ^b	0.18 ^b
30 % Turba+ 70 % tezontle	11.01 ^{ab}	1.0 ^a	0.55 ^a	0.54 ^b	0.86 ^a	0.73 ^a	0.27 ^a
DMSH	1.52	0.21	0.07	0.14	0.13	0.10	0.06
CV (%)	9.91	12.9	11.6	12.5	10.9	9.6	13.6

Ps: Peso seco; N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$)

5.6.6. Sodio

Dentro de los cultivares (Cuadro 11), en la comparación de medias no se encontraron diferencias significativas para la concentración de sodio en las plantas evaluadas. Las hojas que obtuvieron los mayores porcentajes fueron las de los tratamientos con 30 % turba +70 % tezontle (0.27 %), tezontle (0.24 %), turba (0.24 %) y fibra de coco (0.24 %);

las de menor concentración fueron las del tratamiento con aserrín (0.18 %) y la mezcla de 30 % turba +70 % agrolita (0.18 %) (Cuadro 12).

5.6.7 Hierro

Dentro de los cultivares Festival y Jacona (Cuadro 13), no se encontraron diferencias significativas en la comparación de medias para la concentración de hierro en las plantas muestreadas. Dentro de los tratamientos (Cuadro 14), las plantas establecidas en aserrín (91.60 ppm) fueron las que presentaron mayor concentración de hierro en hojas, en segundo plano encontramos la mezcla de 30 % turba +70 % agrolita (71.40 ppm) y en tercer plano encontramos las plantas de los tratamientos de 30 % turba +70 % tezontle (49.76 ppm), tezontle (43.37 ppm), turba (42.50 ppm) y fibra de coco (39.27 ppm), sin diferencias entre ellos.

Cuadro 13. Concentración promedio de micronutrientes en hojas de fresa cv. Festival y Jacona.

CULTIVAR	Fe	Mn	Zn ppm	B
Festival	59.0 ^a	51.6 ^a	17.1 ^a	73.5 ^a
Jacona	63.6 ^a	43.4 ^b	17.6 ^a	71.4 ^a
DMSH	6.13	3.99	2.59	5.5
CV (%)	15.6	12.0	21.4	11.0

Fe: hierro; Mn: manganeso; Zn: zinc; B: boro; ppm: partes por millón; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$)

5.6.8 Manganeso

Dentro de los cultivares (Cuadro 13), en la comparación de medias se encontraron diferencias significativas para la concentración de manganeso en las hojas, presentando una concentración mayor el cultivar Festival con 51.60 ppm seguida por 'Jacona' con 43.40 ppm. Dentro de los tratamientos (Cuadro 14), encontramos primero las plantas establecidas en tezontle (107.70 ppm); en segundo plano encontramos las de los tratamientos con aserrín (67.89 %) y 30 % turba +70 % agrolita (59.90 ppm); en tercer plano, encontramos a las fresas establecidas en turba (26.47 ppm) y en último plano, encontramos a las plantas establecidas en los tratamientos de 30 % turba +70 % tezontle (11.82 ppm) y fibra de coco (11.44 ppm).

5.6.9. Zinc

En los cultivares Festival y Jacona no se encontraron diferencias significativas para la concentración de zinc en las plantas por efecto varietal (Cuadro 13). En la comparación de medias de los tratamientos (Cuadro 14), se encontraron diferencias significativas para la concentración de este elemento en hojas, las plantas establecidas en turba (23.98 ppm) presentaron la mayor concentración; sin diferencias estadísticas en la concentración de zinc encontramos a las plantas establecidas en 30 % turba +70 % agrolita (17.72 ppm) y 30 % turba +70 % tezontle (17.60 ppm); por último encontramos a las de los tratamientos de tezontle (16.40 ppm), aserrín (15.23 ppm) y fibra de coco (13.51 ppm).

5.6.10. Boro

No se encontraron diferencias significativas en la concentración de boro entre los cultivares (Cuadro 13). En la comparación de medias, se encontraron diferencias significativas para la concentración de éste elemento en hojas dentro de los tratamientos (Cuadro 14), presentando mayores concentraciones las plantas de los tratamientos con 30 % turba +70 % tezontle (94.44 ppm) y tezontle (91.25 ppm), seguido de las de aserrín (80.71 ppm); las de la mezcla de 30 % turba +70 % agrolita (67.17 ppm); las de turba (51.74 ppm) y las de fibra de coco (49.78 ppm).

Cuadro 14. Concentración promedio de micronutrientes por tratamiento en hojas de fresa cv. Festival y Jacona.

Tratamiento	Fe	Mn	Zn ppm	B
Tezontle	43.37 ^c	107.70 ^a	16.40 ^b	91.25 ^a
Turba	42.5 ^c	26.47 ^c	23.98 ^a	51.74 ^c
Aserrín	91.6 ^a	67.89 ^b	15.23 ^b	80.71 ^{ab}
Fibra de coco	39.27 ^c	11.44 ^d	13.51 ^b	49.78 ^c
30 % Turba + 70 % Agrolita	71.4 ^b	59.91 ^b	17.72 ^{ab}	67.17 ^b
30 % Turba+ 70 % tezontle	49.76 ^c	11.82 ^d	17.60 ^{ab}	94.44 ^a
DMSH	16.0	10.42	6.78	14.58
CV (%)	15.6	12.0	21.4	11.00

Fe: hierro; Mn: manganeso; Zn: zinc; B: boro; ppm: partes por millón; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$)

5.7 Fruto

5.7.1. Número de frutos por fecha de corte

En el cultivar Festival (Figura 17), se observó un aumento del número de frutos a partir del 17 de mayo hasta el 8 de junio en la mayoría de los tratamientos, con excepción del

aserrín y la fibra de coco que tuvieron rendimientos de bajos a nulos. En el cultivar Festival, podemos decir que el tratamiento que mayor número de frutos presento fue el de tezontle seguido de la mezcla 30 % turba +70 % agrolita, la mezcla de 30 % turba +70 % tezontle, turba, aserrín y por ultimo fibra de coco.

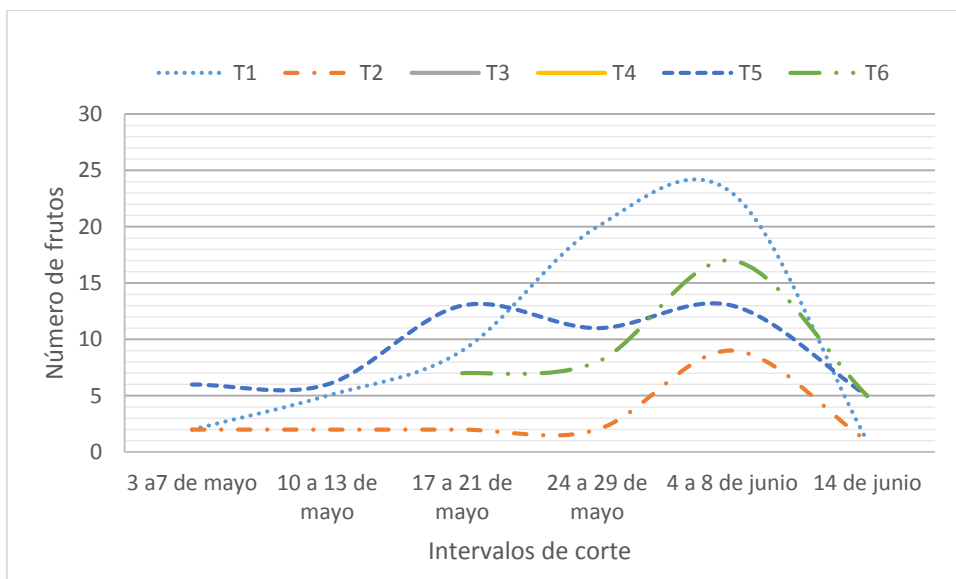


Figura 17. Número de frutos de fresa cv Festival establecidas en diferentes sustratos T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle

En el cultivar Jacona (Figura 18), se observó un aumento del número de frutos a partir del 10 de mayo en los tratamientos con 30 % turba +70 % agrolita, 30 % turba +70 % tezontle y tezontle; la turba fue un poco más variable ya que aumentó la cantidad de frutos del 17 al 21 de mayo y después bajo. En orden decreciente los tratamientos con mayor número de frutos fueron: 30 % turba +70 % tezontle, 30 % turba +70 % agrolita, tezontle, turba y aserrín que sólo tuvo una toma de datos para esta variable por último la fibra de coco que no presentó datos.

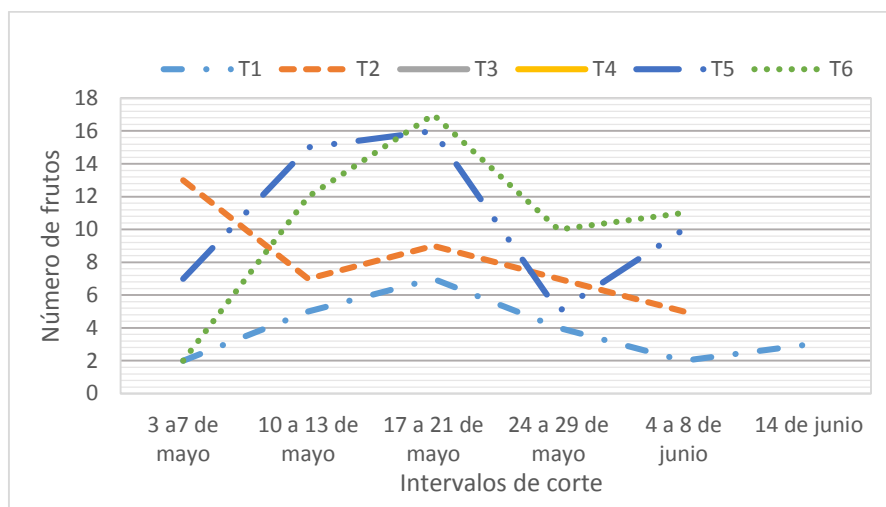


Figura 18. Número de frutos de fresa cv. Jacona establecidas en diferentes sustratos T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle

5.7.2. Peso de frutos por fecha de corte

En el cultivar Festival (Figura 19), se observó un aumento del peso de los frutos partir del 17 de mayo en los tratamientos con 30 % turba +70 % agrolita, tezontle y 30 % turba +70 % tezontle; en el tratamiento con turba, se presentó un aumento del peso de frutos a partir del 24 de mayo. Los tratamientos con fibra de coco y aserrín solo tuvieron una toma de datos el 14 de junio. Los tratamientos con mayor peso de frutos en orden descendente son los siguientes: 30 % turba +70 % agrolita, Tezontle, 30 % turba +70 % tezontle, turba, fibra de coco y aserrín.

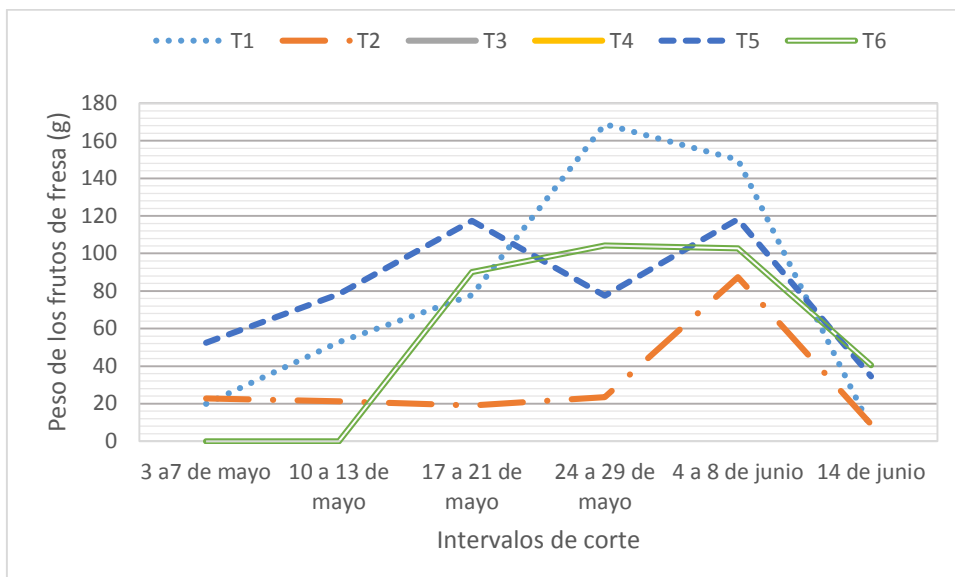


Figura 19. Peso de frutos de fresa cv Festival establecidas en diferentes sustratos. T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle

En el peso de frutos del cultivar Jacona (Figura 20), se puede observar un aumento de este en los tratamientos con 30 % turba + 70 % tezontle, 30 % turba + 70 % agrolita y tezontle a partir del 10 de mayo; el tratamiento de turba fue el que tuvo más altibajos pues en la fecha del 3 a 7 de mayo se observó el mayor peso de frutos y después decreció; en aserrín, sólo se obtuvo una toma de datos y en fibra de coco no se presentaron frutos. Los mayores pesos de frutos en orden decreciente quedaron de la siguiente manera: 30 % turba + 70 % tezontle, 30 % turba + 70 % agrolita, tezontle, turba y aserrín.

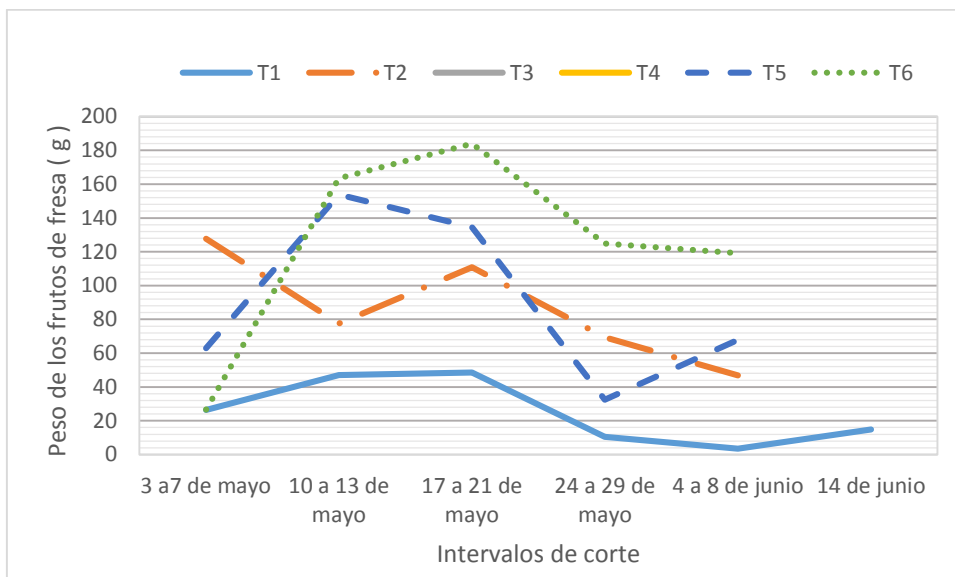


Figura 20. Peso de frutos de fresa cv. Jacona establecidas en diferentes sustratos. T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle

5.7.3. Promedio del peso por fruto.

Dentro del peso promedio del fruto, no se detectaron diferencias significativas entre los cultivares Festival y Jacona

Dentro de la evaluación, el peso promedio del fruto vario dependiendo del sustrato, pues los que mejores promedios arrojaron fueron: Turba, la mezcla de 30 % turba + 70 % tezontle, 30 % turba +70 % agrolita y tezontle que son estadísticamente iguales entre sí; fibra de coco y aserrín resultaron tener los peores promedios (Figura 21).

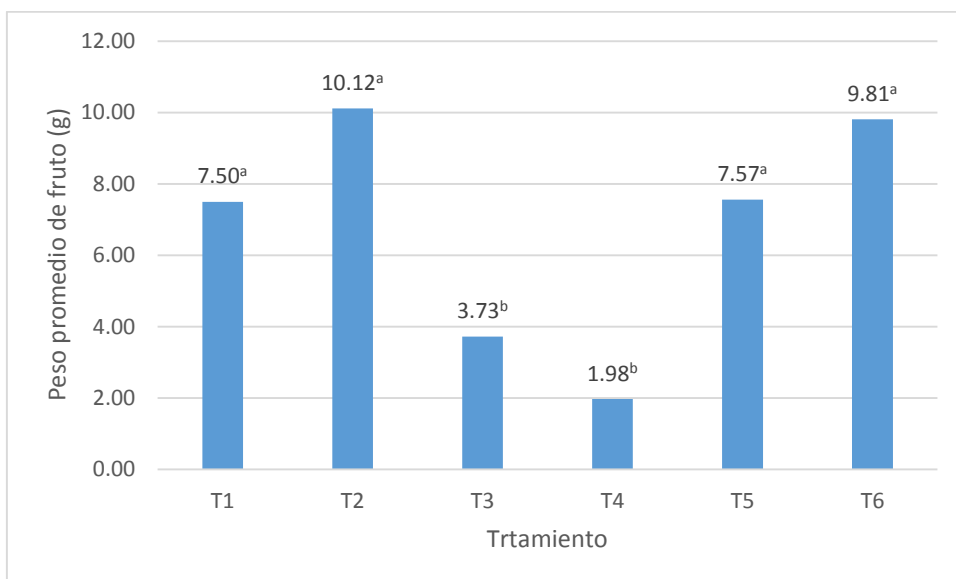


Figura 21. Comparación de medias por tratamiento del promedio del peso de fruto evaluados en fresa cv. Festival y Jacona establecidas en diferentes sustratos T1: tezontle; T2: turba; T3: aserrín; T4: fibra de coco; T5: 30 % turba + 70 % agrolita; T6: 30 % turba + 70 % tezontle. . Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$).

VI. DISCUSIONES

Cron y Nkongolo (1999) mencionan que es muy importante conocer las propiedades físicas de un sustrato antes de establecer un cultivo ya que no pueden ser modificadas posteriormente; además Michel (2007), menciona que el desarrollo de las raíces, depende de las condiciones hídricas y físicas proporcionadas por el sustrato, además este debe de tener el suficiente volumen para proporcionar agua, aire y minerales a la planta necesarias para su desarrollo.

Los sustratos que obtuvieron las mejores densidades aparentes fueron turba y la mezcla de 30 % de turba + 70 % agrolita, esto con base en lo recomendado por Abad y Noguera (2000) para cultivos bajo invernadero; sin embargo, Díaz (2004), alude que en la producción de hortalizas se prefiere una densidad aparente menor de 0.5 g cm^{-3} ya que disminuye el costo del transporte del material y facilita el manejo dentro del invernadero, los sustratos que se están dentro de éste parámetro son: turba, aserrín, fibra de coco y mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita.

Los resultados obtenidos del espacio poroso total (EPT) arrojados por la metodología de volumen y peso son muy variables para los diferentes sustratos, esto es comprensible debido a los diferentes orígenes de los sustratos. Es muy importante tener un buen porcentaje de EPT, ya que Michel (2007) menciona que las raíces pueden ocupar hasta el 10 % del volumen total, por lo que el espacio poroso total disminuye. Abad *et al.* (2004), recomiendan que el EPT debe de ser cuando menos de 85 % y los sustratos que alcanzan estos valores son los de Turba, aserrín y fibra de coco esto en sustratos nuevos. En sustratos usados los que mantuvieron un EPT óptimo fueron los sustratos de aserrín y fibra de coco. En lo que se refiere a los sustratos de 30 turba +70 % agrolita y 30 turba +70 % tezontle, quedaron por debajo del nivel óptimo de EPT; sin embargo, Abad y

Noguera (2000), mencionan que un EPT elevado no garantiza una buena estructura del sustrato ya que es necesario conocer la relación entre la fracción de la porosidad que libera el agua hacia el cultivo y la proporción de aire dentro del sustrato; además, Anicua (2008), encontró diferentes porcentajes de EPT cuando evaluó las propiedades físicas de diversos sustratos, ya que, en turba encontró un 94.7 %, en fibra de coco 94.3 %, perlita 85 % y tezontle 67.5 %. Riviere y Milhau (1983) encontraron que con el solo hecho de compostear aserrín de pino, disminuía el EPT, lo que nos puede ayudar a comprender un poco la disminución de esta característica física en los sustratos nuevos de turba, fibra de coco y aserrín evaluados al final del ciclo del experimento. En el caso del tezontle, se observó una disminución del espacio poroso total, de igual manera Rodríguez *et al* (2013), observaron este fenómeno en el reúso de tezontle y lo atribuyeron a la distribución del tamaño de partículas por el uso y reúso del sustrato.

De Boodt y Verdonck (1972); Raviv *et al.* (2002) y Abad *et al.* (2004), aluden a que un sustrato debe de tener una capacidad de aireación de entre el 20 y 30 % ya que las raíces dependen de un intercambio gaseoso rápido entre la fase líquida y la fase sólida. Tomando en cuenta este parámetro, es importante mencionar que el tratamiento que obtuvo la mayor capacidad de aireación al final del experimento fue el aserrín, este resultado es acorde con lo escrito por Lemaire *et al.* (1980), pues mencionan que la corteza de pino usada como sustrato tiene una buena capacidad de aireación pero poca retención de humedad. La fibra de coco en nuestro experimento presentó buena capacidad de aireación, resultados similares a los reportados por Verdonck (1983), quien encontró una buena capacidad de aireación pero una baja capacidad de retención de humedad.

El tezontle al inicio del experimento (sustrato inicial), presentó una excelente capacidad de aireación al igual que Trejo *et al.* (2013); sin embargo, ésta característica física disminuyó

en un 28 % al final del cultivo; de la misma manera, Rodríguez *et al.* (2013) reporta una disminución del 75 % de la capacidad de aireación total y lo atribuyo al reacomodo de partículas.

Al inicio del experimento (sustrato inicial), la turba presentó una buena capacidad de aireación (22.98 %), sin embargo en el sustrato final evaluado, se observa una disminución importante de esta característica física (13.84 %); este último resultado es muy similar al encontrado por Martínez *et al.* (1991) pues en su experimento de la relación aire-agua registró una capacidad de aireación de 15.89 % en turba.

En el mismo experimento Martínez *et al.* (1991), evaluaron una mezcla de perlita y turba 2:1 en la cual obtuvo una capacidad de aireación del 53.65 %, lo cual es un porcentaje mayor comparado con el 25.24 % obtenido en la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita de nuestro experimento y esto debido a que son diferentes proporciones y el acomodo de las partículas es diferente.

Es importante mencionar que los sustratos usados de tezontle, turba y 30 % turba + 70 % agrolita, no son considerados con buena capacidad de aireación según De Boodt y Verdonck (1972) y Abad *et al.* (2004); sin embargo Bunt (1988) menciona que los parámetros óptimos de capacidad de aireación de un sustrato deben de estar del 10 % al 20 %, por lo que podemos clasificar a estos sustratos como aceptables. Por último, el sustrato que presentó menor capacidad de aireación fue el de la mezcla con 30 % turba + 70 % tezontle, también es importante resaltar el hecho de que la capacidad de aireación en el sustrato inicial, fue mayor que la capacidad de aireación del sustrato final. Raviv *et al.* (2002), mencionan que la capacidad de aireación optima debe de estar definida en base al tamaño del contenedor y la frecuencia de riego.

Según Cabrera (1999), la capacidad de retención de humedad del sustrato ideal, debe de estar entre 55 y 70 %, los únicos sustratos iniciales que estuvieron dentro de este intervalo, fueron turba y fibra de coco que obtuvieron los mejores porcentajes, además de la mezcla 30 % turba + 70 % agrolita. Los sustratos que no presentaron una buena capacidad de retención de humedad fueron: 30 % turba + 70 % tezontle, fibra de coco y tezontle, aunque este último presentó valores muy bajos, son mayores a los reportados por Velázquez *et al* (2004). Los resultados anteriores son parecidos a los mostrados por García *et al.* (2001), quienes en su evaluación encontraron que los sustratos orgánicos por lo general se encuentran en los rangos óptimos de capacidad de retención de humedad y en nuestro experimento a excepción de la fibra de coco, la mayoría de los sustratos orgánicos o mezclas con turba tienen una buena capacidad de retención de humedad. Respecto a las mezclas, D'Angelo y Titone (1988), compararon 25 sustratos con mezclas y llegaron a la conclusión de que la turba aumenta la capacidad de retención de humedad, pero que necesita de otro sustrato para mejorar el drenaje; lo anterior, nos ayuda a comprender el por qué las mezclas de 30 % turba + 70 % agrolita y 30 % turba + 70 % tezontle tienen una capacidad de retención de humedad aceptable.

En cuanto a sustratos usados los que están dentro del intervalo establecido por Cabrera (1999) para la capacidad de retención de humedad, son turba, 30 % turba + 70 % agrolita y fibra de coco. Los sustratos de aserrín, 30 % turba + 70 % tezontle y tezontle quedan fuera de este intervalo.

Es importante mencionar que en los tratamientos de tezontle, aserrín y 30 % turba + 70 % agrolita se observó un aumento en la capacidad de retención de humedad, al respecto Michel *et al.* (2013), encontraron el mismo fenómeno al evaluar el impacto de las raíces sobre el sustrato durante 110 días y lo atribuyó a la disminución del espacio poroso total ocasionado por el aumento del volumen de las raíces. En los tratamientos que no

aumentó la capacidad de retención de humedad podría haber sido ocasionado por el nulo o escaso aumento del espacio poroso total.

Cabrera (1995), menciona que el agua fácilmente disponible, debe de tener un volumen de por lo menos el 30 %; sin embargo, Abad y Noguera (2000), mencionan que el porcentaje de agua fácilmente disponible, debe de estar entre 20 y 30 % del volumen; con base en ese intervalo, podemos decir que para esa variable los mejores tratamientos en orden decreciente fueron: fibra de coco, turba y la mezcla 30 % turba + 70 % agrolita. Los tratamientos de 30 % turba + 70 % tezontle y aserrín no alcanzaron los niveles óptimos; sin embargo, quedaron a una diferencia del 2.71 % el primero y de 3.64 % el segundo; el tezontle, es el sustrato que menor porcentaje de agua fácilmente disponible presentó. En el caso de la turba, Lemaire (1995), aluden que esta debe de tener 32.7 % de agua fácilmente disponible, aunque la turba evaluada en el experimento estuvo dentro de los mejores tratamientos, no alcanzó el resultado esperado. Trejo *et al.* (2013), encontraron que el agua fácilmente disponible en tezontle está entre 7.8 y 8 % dependiendo del diámetro de las partículas, valores que son muy similares en nuestro experimento (8.48 %). Martínez *et al.* (1991), reportaron 13.57 % de agua fácilmente disponible para la mezcla de 2:1 de perlita y turba, mientras que nosotros reportamos un 22.72 % en una mezcla de 30 % Turba + 70 % agrolita, Anicua *et al.* (2008), al respecto encontraron que el porcentaje de agua fácilmente disponible no solo depende del origen del sustrato, ya que en gran medida, depende del tamaño de las partículas. Como podemos observar en nuestros resultados, el aserrín fue de los sustratos que presentaron menores volúmenes de agua fácilmente disponible, al respecto Lemaire *et al.* 1980. Mencionan que la corteza de pino utilizado como sustrato tiene una buena capacidad de aireación, alta porosidad pero muy poca agua fácilmente disponible.

Por otro lado, Cruz *et al.* (2010), mencionan que la incorporación de materia orgánica en un sustrato inorgánico mejora el volumen de agua fácilmente disponible y eso se puede observar claramente en los sustratos de tezontle y la mezcla de 30 % turba + 70 % tezontle de nuestras evaluaciones.

En los sustratos finales de tezontle, aserrín, 30 % turba + 70 % agrolita y 30 % turba + 70 % tezontle, se observó un aumento del agua fácilmente disponible; Michel *et al.* (2013), observaron el mismo comportamiento en su experimento, y lo relacionaron con la disminución del espacio poroso total ocasionado por el aumento del volumen de las raíces, lo que ocasiona una cantidad mayor de microporos y a su vez un mayor volumen de agua fácilmente disponible. Riviere y Milhau (1983), observaron un comportamiento similar en aserrín de pino, ya que al someter el sustrato a un compostaje su volumen de agua fácilmente disponible aumentó.

El Agua de reserva es el porcentaje de agua que se libera entre los 50 y 100 cm de columna de agua, no es recomendable que el sustrato sobrepase la tensión de los 100 cm de columna de agua pues es el nivel a partir del cual se limita la disponibilidad de agua para la planta (De Boodt *et al.*, 1974; Abad *et al.*, 2004). Abad y Noguera (2000), Zapata *et al.* (2005) mencionan que el volumen de agua de reserva debe de estar entre 4 y 10 %, tomando en cuenta este parámetro, la mayoría de los porcentajes de agua de reserva registrados en nuestro experimento se encontraron dentro del parámetro establecido e incluso superaron dicho parámetro, ya que la fibra de coco presentó un porcentaje de 12.23 %; los tratamientos que se encontraron dentro del parámetro fueron: Turba, 30 % turba+70 % agrolita, aserrín y 30 % turba+70 % tezontle; el sustrato que presento menor valor fue el tezontle.

En su evaluación para determinar la capacidad de agua disponible De Boodt *et al.* (1974), aluden a que existe agua disponible dentro del sustrato a tensiones de 50 a 100 cm de columna de agua pero que es un tanto más difícil la succión por parte de la planta.

Diversos autores aluden que el agua difícilmente disponible es la que se encuentra en el sustrato después haberlo sometido a una tensión de 100 cm de columna de agua, además de que a esta tensión, el agua se encuentra muy retenida en el sustrato y muchas veces la planta no tiene la capacidad de absorberla (Pastor, 1999; Baixauli y Aguilar, 2002). De Boodt *et al.* (1974), citan que no es recomendable .que el sustrato tenga solo agua difícilmente disponible, pues la energía que debe de gastar la planta para succionar el agua es muy alta y puede inhibir el crecimiento. Los tratamientos, que presentaron mayores volumen de agua difícilmente disponible fueron la turba, fibra de coco y la mezcla 30 % turba + 70 % agrolita, seguido por aserrín y 30 % turba + 70 % tezontle, el sustrato que menor agua difícilmente disponible presentó fue el tezontle.

Cabrera (1999), aconseja que el agua total disponible para la planta debe alcanzar mínimamente un 30 % del volumen total del sustrato; por otro lado, Baixauli y Aguilar (2002), definen a el agua total disponible como la suma de agua fácilmente disponible y el agua de reserva, también aluden a que el nivel óptimo de esta propiedad física se encuentra entre el 24 y el 40 % de volumen. Basándonos en este intervalo podemos decir que los sustratos de fibra de coco, turba y 30 % turba + 70 % agrolita fueron los sustratos que presentaron un adecuado nivel de agua total disponible; por otro lado, los sustratos de aserrín y 30 % turba + 70 % tezontle no se encontraron tan lejos del nivel óptimo de esta propiedad física en comparación con el tezontle que tiene un volumen de agua disponible muy bajo. Marfá *et al* (1993), mencionan que un buen volumen de agua total disponible y buenas propiedades mecánicas en un sustrato son necesarias para producir buenos rendimientos y mayores producciones de biomasa

Casas (2003), alude que se puede hablar de un suelo salino cuando se tiene una conductividad eléctrica por encima de los 4 dS m^{-1} y que el aumento de la conductividad eléctrica se presenta por un incremento en la concentración de sales ocasionado por un riego localizado, sin embargo, la fresa se desarrolla bien bajo una conductividad eléctrica (C. E.) de 1.0 dS m^{-1} , además por cada aumento de una unidad el rendimiento se reduce un 33 % (Rhoades y Miyamoto, 1990), por otro lado Abad *et al.* (2005) mencionan que el extracto de saturación debe de tener una conductividad eléctrica de entre 0.75 y 3.49 dS m^{-1} ; bajo esta premisa, podemos observar que la mayoría de los sustratos están dentro del valor óptimo de C. E. a excepción del tratamiento de 30 % turba + 70 % agrolita que presento un valor muy elevado de esta propiedad química. Basándonos en esta premisa, nos ayuda a explicar el por qué los rendimientos de estos tratamientos disminuyeron drásticamente en los cultivares de Festival y Jacona, esto se debe a que las raíces de la fresa son muy susceptibles a la salinidad (Stanley y Maynard, 1990).

La concentración de nitrógeno en los extractos de saturación obtenida de los sustratos se clasifica como bajo entre cultivares al igual que los tratamientos de turba, aserrín, 30 % turba + 70 % agrolita y tezontle; en lo que se refiere a los sustratos de fibra de coco y 30 % turba + 70 % tezontle, presentaron las concentraciones más bajas de este elemento (Abad *et al.*, 2005). Castellanos *et al.* (2000), aluden que el nitrógeno en forma de NO_3^- es fácilmente lixiviado, además de que este elemento en su forma de NH_4^+ es muy volátil, dado que para preparar la solución nutritiva se utilizaron estas dos formas de nitrógeno, es probable que además de otros factores que afectaron la disponibilidad de nitrógeno fueron causadas por la volatilización amoniacal y la lixiviación. En el caso de los sustratos de aserrín y fibra de coco, es posible que la poca disponibilidad de nitrógeno en parte sea causada por la inmovilización del mismo, pues al tener materia orgánica se requieren de elevadas cantidades de nitrógeno para degradarla. Riviere y Milhau (1983), mostraron que

al usar aserrín de maple, después de un año de uso el nitrógeno subía de 0.52 % a 1.63 %, el carbono bajaba de 67.83 % a 39.88 %.

La concentración de fósforo en el extracto de saturación de los tratamientos y de los cultivares, se clasifican como muy bajos según Abad *et al.* (2005). Castellanos *et al.* (2000), mencionan que el fósforo se mueve por flujo de masas y difusión, por lo que el déficit de humedad es uno de los factores que afecta la disponibilidad de este elemento por la planta. Otro de los factores que afecta la disponibilidad de potasio para la planta, es la baja aireación del sustrato.

Según Abad *et al.* (2005), la concentración de potasio en el extracto de saturación se encuentra fuera de los niveles óptimos en el caso de los cultivares y los tratamientos; sin embargo, es importante tomar en cuenta que el extracto de saturación de la turba y la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita presentaron las mayores concentraciones de este elemento. Castellanos *et al.* (2000) mencionan que la fijación del potasio, se da en arcillas del suelo y que se acentúa con el secado del mismo. No se tomaron datos de textura, sin embargo es fácil de pensar que la turba tiene más contenido de arcilla que los demás sustratos, además de en la parte final de la evaluación, se observó que los tratamientos de turba y 30 % turba + 70 % agrolita, se secaron demasiado y el agua no penetraba de manera fácil al sustrato; por lo que nos ayuda a pensar que la causa de que la turba y la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita tengan una concentración de potasio más alta es debido a la adsorción del potasio.

El contenido de calcio en los extractos de saturación evaluados fueron clasificados como muy bajos (Abad *et al.*, 2005), pero es importante mencionar que los sustratos de turba y la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita resultaron tener las concentraciones más elevadas. Castellanos *et al.* (2000) aluden a que dos de los factores que afectan el

suministro de calcio a la planta son: el suministro del elemento y el suministro de agua; por lo que, se debe de tener cuidado cuando se manejen aserrín, 30 % turba + 70 % tezontle y tezontle, pues fueron los sustratos que presentaron menor retención de humedad.

Abad *et al.* (2005), clasifican a la concentración de magnesio en los extractos de saturación como muy bajos en el caso de cultivares y entre tratamientos, a excepción de turba y la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita que se encuentran dentro de los niveles óptimos. Castellanos *et al.* (2000) mencionan que en suelos muy alcalinos se presenta una relación antagonista entre el calcio y el magnesio, siendo éste último el más perjudicado.

Abad *et al.* (2005), determinan que la concentración de hierro encontrada en los extractos de saturación de los sustratos está por debajo del nivel óptimo en cultivares y tratamientos, es importante mencionar que los sustratos con mayor concentración de este elemento fueron: turba, 30 % turba + 70 % agrolita y 30 % turba + 70 % tezontle. Castellanos *et al.* (2000), aluden a que la aireación es uno de los factores que afectan la disponibilidad de este elemento en el suelo; por lo que hay que tener especial atención con este elemento en los sustratos de tezontle, turba y 30 % turba + 70 % agrolita, pues presentan una capacidad de aireación inadecuada.

Basándonos en el intervalo establecido por Abad *et al.* (2005), se puede decir que la concentración de manganeso en los extractos de saturación de los sustratos evaluados está por debajo del óptimo con la excepción del aserrín y la mezcla de 30 % turba + 70 % tezontle que se encuentran dentro del óptimo.

Apoyándonos en el intervalo establecido por Abad *et al.* (2005), podemos establecer que la concentración de zinc en los sustratos se clasifica como deficiente para todos los casos.

El contenido de boro en los extractos de saturación obtenido de los sustratos fue clasificado como óptimo en todos los casos con excepción de la mezcla de 30 % turba + 70 % agrolita que no se detectó este elemento (Abad *et al.*, 2005); Castellanos *et al.* (2000) mencionan que los principales factores que afectan la disponibilidad de boro en el suelo son: el uso de suelos de buen drenaje, pH por arriba de 6.5 afecta la disponibilidad de boro, cuando la disponibilidad de calcio es alta, la demanda de boro será mayor y/o la humedad del suelo, pues el boro se mueve por flujo de masas y difusión.

Pritts y Handley (1998), el nitrógeno en todos los casos resultó deficiente. Mass (1998), mencionan que si la fresa no tiene adecuados niveles de este elemento, el crecimiento de la planta y de los frutos se reduce. Cabe mencionar que los tratamientos que presentó mayor concentración de nitrógeno en hojas fueron 30 % Turba+ 70 % tezontle, 30 % Turba+ 70 % agrolita, turba y tezontle en ese orden y fueron los tratamientos que presentaron un mayor peso seco y un mayor rendimiento.

Tomando en cuenta los parámetros de Pritts y Handley (1998), encontramos que la mezcla de 30 % Turba + 70 % agrolita y los sustratos de tezontle, turba, aserrín y fibra de coco, presentaron concentraciones adecuadas de fósforo en hojas; mientras que la mezcla de 30 % turba + 70 % tezontle presento excesos en la concentración de este nutrimento. Si bien la disponibilidad de fósforo es por medio de difusión e intercepción (Malavolta, 1995), además de que se mueve poco en el medio y está en las capas superficiales del medio, necesita de estar en solución para ser absorbido por las plantas

(Tisdale *et al.*, 1985), por eso nos ayuda a pensar que la disponibilidad de este elemento en parte se debe a la humedad presente en el suelo.

Las concentraciones nutrimentales de potasio encontrado en las plantas de fresa se clasifican como deficientes según Pritts y Handley (1998), sin embargo es importante mencionar que las plantas establecidas en turba, fibra de coco y 30 % turba + 70 % agrolita, presentaron las mayores concentraciones de este elemento, esto podrá estar muy relacionado con el hecho de que estos sustratos son los que presentaron mejores capacidades de retención de humedad; ya que Castellanos *et al.* (2000), hacen referencia de que el potasio se mueve por flujo de masas por lo que al estar en un sustrato húmedo lo hace más asimilable para la planta.

La concentración de calcio en las hojas de los tratamientos establecidos en aserrín y la mezcla 30 % turba + 70 % tezontle se clasifica como suficiente, aunque en el aserrín está muy cercano a la deficiencia; en el caso de las plantas de fresa establecidas en tezontle, turba, fibra de coco y en la mezcla 30 % turba + 70 % agrolita presentan una concentración de calcio deficiente en las hojas (Pritts y Handley, 1998), al respecto Mass, 1998 y Castellanos *et al.* (2000) mencionan que la deficiencia de este elemento en la planta ocasiona que la hoja de la fresa no se expanda totalmente, por lo que baja su fotosíntesis neta, además de que es un componente importante de la membrana celular por lo que deficiencias de este elemento puede alterar la permeabilidad de la membrana y ocasionar deficiencias nutrimentales; por otro lado, mencionan que la deficiencia de calcio puede ser ocasionada por un escaso suministro del elemento, humedad baja o debido a que el calcio es fácilmente lixiviado y Karaklajić *et al.* (2013), mencionan que incluso la deficiencia de este elemento puede ser causado por el sustrato en sí. Incluso, puede ser

que en los sustratos de turba y 30 % turba + 70 % agrolita presentaran cantidades adecuadas de calcio pero no fue liberado, ya que Klougart y Bagge (1969) mencionan que para que el sustrato de turba libere el calcio adsorbido es necesario la presencia de otros cationes.

La concentración de magnesio en las plantas de fresa establecidas en fibra de coco es adecuado y en las plantas de fresa establecidas en tezontle, turba, aserrín, 30 % turba + 70 % tezontle y 30 % turba + 70 % agrolita se encuentran por encima del óptimo pero sin llegar a ser excesivo (Pritts y Handley, 1998), Lamarre y Lareau (1997), encontraron que el magnesio tiene una pequeña influencia positiva sobre el rendimiento y tamaño del fruto de la fresa, por lo anterior podemos decir que en parte el magnesio ayudó a que el fruto de la fresa presentara buen tamaño y rendimientos aceptables en los tratamientos de turba, 30 % turba + 70 % tezontle, turba, 30 % turba + 70 % agrolita y tezontle.

La concentración de sodio en todas las plantas es clasificada como adecuado, sin embargo, en el sustrato de 30 % turba + 70 % tezontle, se estuvo a punto de entrar en niveles tóxicos de sodio en la planta (>0.3 %) Reuter y Robinson (1986). Li *et al.* (2010) mencionan que si se tiene fresas en un estrés ocasionado por sodio, el crecimiento se inhibe, el peso seco de la planta y el peso de las raíces disminuyen, por lo que se tendrían bajos rendimientos y hasta la muerte de la planta.

La concentración de zinc en plantas de fresa resultó deficiente para la mayoría de los tratamientos con excepción de turba que se encuentra dentro del parámetro de suficiencia (Pritts y Handley, 1998). Chaturvedi *et al.* (2005) mencionan que el zinc promueve la síntesis del ácido ribonucleico, por lo que es esencial para la síntesis de proteínas, debido a esto cuando se tienen deficiencias de zinc, disminuye el peso de la planta y el número de hojas; debido a lo anterior, podemos explicarnos por qué en las plantas de fresa no se

observó un peso seco similar a los reportados por Molina *et al.* (1993), ya que además de tener una mayor cantidad de peso seco, reporta concentraciones adecuadas de zinc

La concentración de manganeso para las plantas establecidas en tezontle, aserrín, 30 % turba + 70 % agrolita, y dentro del cultivar Festival en general se consideran como adecuados; las plantas establecidas en los sustratos de fibra de coco, turba, y la mezcla de 30 % turba + 70 % tezontle presentaron una concentración deficiente de este elemento al igual que el cv Jacona (Pritts y Handley, 1998). Aunque el manganeso participa en procesos importantes como la fotólisis, la síntesis de clorofila, síntesis de vitaminas y en la fotosíntesis, la planta de fresa es muy tolerante a las deficiencias de este elemento cuando no son muy extremas y sus deficiencias son comunes en suelos alcalinos (Castellanos *et al.*, 2000; Mass, 1998), por lo que es poco probable que las plantas establecidas en fibra de coco, turba, y la mezcla de 30 % turba + 70 % tezontle se vean afectadas por la deficiencia de este elemento.

La concentración de hierro en la planta se clasifica como adecuados para los tratamientos de aserrín, 30 % turba + 70 % agrolita y para el cv Jacona; para los tratamientos de tezontle, turba, fibra de coco, 30 % turba + 70 % tezontle y para el cv Festiva la concentración de este elemento se encuentra deficiente; (Pritts y Handley, 1998). Castellanos *et al.* (2000), mencionan que el hierro es esencial para la síntesis de clorofila, forma parte esencial del citocromo y que su disponibilidad en el sustrato se ve afectada por la aireación y el antagonismo con manganeso, zinc y fósforo, además de que la fresa es sensible a la falta de este elemento. Por lo anterior, podemos mencionar que la deficiencia de hierro en las plantas establecidas en los sustratos de tezontle, turba, fibra de coco y 30 % turba + 70 % tezontle pudieron afectar el proceso de la fotosíntesis, lo que podría ocasionar una disminución del rendimiento y del peso seco de la planta, además castellanos *et al.* (2000).

La concentración de boro en las plantas establecidas en tezontle y 30 % turba + 70 % tezontle, es considerada como excesivos; en la fibra de coco, 30 % turba + 70 % agrolita y turba, las concentraciones son adecuadas (Pritts y Handley, 1998), Gárate *et al.* (1991) mencionan que si hay una deficiencia de boro, no se observa una disminución del crecimiento ni del rendimiento, sin embargo Mass (1998) alude a que el boro es esencial para el crecimiento de las raíces por lo que puede afectar la absorción nutrimental.

Los mejores resultados de peso promedio de fruto, fueron los de las plantas establecidas en turba y la mezcla de 30 % turba + 70 % tezontle; el mayor número de frutos lo presentaron la mezcla de 30 % turba + 70 % tezontle y 30 % turba + 70 % agrolita; es importante mencionar que los principales componentes del fruto de fresa, son el N, P, K, Ca y Mg (Mass, 1998; Lamarre y Lareau, 1997), por lo que una deficiencia dentro de la formación del fruto afecta drásticamente el rendimiento, Molina *et al* (1993) observó un incremento en la absorción de N, P, K, Ca y Mg cuando se obtuvo una mayor producción de frutos.

En cuanto al peso de frutos cosechados, existe una variación en cuanto al cultivar y el sustrato, por ejemplo las plantas de 'Jacona' establecidas en 30 % turba + 70 % tezontle, 30 % turba + 70 % agrolita y turba, alcanzaron mayor producción que 'Festival' en los mismos sustratos y ocurrió lo contrario en las plantas establecidas en tezontle, pues el cv. Festival alcanzo los mayores rendimientos en comparación con 'Jacona'. Johnson *et al.* 2009 encontraron el mismo comportamiento evaluando el comportamiento de 10 cultivares de fresa en condiciones de estrés hídrico, y lo atribuyo a que los cultivares tienen diferente respuesta ante un estrés hídrico.

VII. CONCLUSIONES

Con los sustratos evaluados de tezontle, turba, aserrín, fibra de coco, 30 % turba + 70 agrolita y 30 % turba + 70 % tezontle, bajo las condiciones de desarrollo se concluye lo siguiente:

Las plantas de fresa que presentaron una mejor concentración de N, P, K, Mg, Na, Zn, Mn, Fe y B en hojas fueron las establecidas en turba y la mezcla 30 % turba + 70 % agrolita, además presentaron mayor pesos seco, mejor tamaño de fruto, mejores rendimientos y mayores número de frutos

Los sustratos de turba y la mezcla 30 % turba + 70 % agrolita presentaron las mejores características de densidad aparente, capacidad de aireación, capacidad de retención de humedad, agua fácilmente disponible, agua de reserva, agua total disponible, mejor concentración de K, Ca, Mg y Fe. Además la turba presentó un espacio poroso total de los más aptos para el desarrollo de la fresa.

Debido a las conclusiones anteriores, se puede recomendar a la turba como sustrato para la producción de fresa, cuidando que la humedad de este medio de cultivo no decaiga demasiado pues se pueden presentar problemas para su manejo.

VIII. LITERATURA CITADA

- ABAD, M.; NOGUERA, P. 2000. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación, pp. 389-342. *In: Fertirrigación: Cultivos Hortícolas y Ornamentales* 2nd Ed. CADAHIA, C. (Eds.) Mundi-Prensa Editor Madrid, España.
- ABAD, M.; NOGUERA, P.; CARRIÓN, C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo, 113-158. *In: Tratado de Cultivo Sin Suelo* 3ª Ed. Urrestarazu, M. (Eds.) Mundi-Prensa Editor Madrid, España.
- ABAD, B. M.; NOGUERA M. P.; CARRIÓN, B. C. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. Capítulo 8. En CADAHIA C. (Ed). *Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- ALPERT, P. 1991. Nitrogen sharing among ramets increases clonal growth in *Fragaria chiloensis*. *Ecology* 72:69-80.
- ANICUA, R.; GUTIÉRREZ, M.C.; SÁNCHEZ G, P. 2008. Physical and micromorphological properties of organic and inorganic materials for preparing growing media. *Acta Hort.* 779: 577-582.
- ANSORENA, J. 1994. *Sustratos Propiedades y Caracterización*. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España. 172 p.
- BAIXAULI S., C. A.; AGUILAR O., J. M. 2002. *Cultivo sin Suelo de Hortalizas*. Generalitata Valencia. España. 110 p
- BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. 2007. *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA. pp. 3-18.

- BRANZANTI, E. C. 1989. La Fresa. Traducido al español por DeLa Iglesia González J. A.; Hoyos Echeverría, P. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 386 p.
- BUNT, A. C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. 2nd ed. Unwin Hyman, London. 309 p.
- BURÉS, S. 1997. Sustratos. Agrotécnicas S. L. Madrid, España. 342 p.
- CABRERA, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo Serie Horticultura 5(1): 5-11.
- CABRERA, R.I. 1995. Fundamentals of Container Media Management, Part I Physical Properties. Rutgers Cooperative Research & Extension, NJAES, Rutgers, The State University of New Jersey. USA. 4 p.
- CASAS C., A. 2003. Suelos y aguas utilizados en la horticultura intensiva. Interpretación de análisis, 53-105. *In* Técnicas de Producción en Cultivos Protegidos. CAMACHO F., F. (Eds.). Cajamar. Almeria, España.
- CASTELLANOS J., Z.: UVALLE B., J. X.; AGUILAR S., A. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelo y Agua. 2ª ed. Colección Instituto de Capacitación Para la Productividad Agrícola (INCAPA). Guanajuato, México. 226 p.
- CHATURVEDI, O.P.; SINGH, A.K.; TRIPATHI, V.K.; DIXIT, A.K. 2005. Effect of zinc and iron on growth, yield and quality of strawberry cv. chandler . Acta Hort. 696:237-240
- CONSEJO NACIONAL DE LA FRESA (CONAFRE) 2012. Plan rector nacional, versión actualizada, validada y priorización de proyectos durante la reunión anual del comité nacional del sistema producto fresa llevada a cabo el día 16 de diciembre del 2011 en Zamora Michoacán.

http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNSP_FRESA/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CNSP_FRESA_2012.pdf (consultad 3 de octubre del 2013)

CRON, J.; NKONGOLO, V.K.N. 1999. Aeration in growing media: recent developments. *Acta Hort.* 481:545-551.

CRUZ C., E.; SANDOVAL V., M.; VOLKE H., V.; ORDAZ C., V.; TIRADO T., J. L.; SÁNCHEZ E., J. 2010. Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamérica.* 28(3): 219-229.

DANA, M. N. 1980. The strawberry plant and its environment, p. 32-44. In: Childers, N. F. (Ed.). *The Strawberry*. Horticultural Publications, Gainesville, Fla.

DÍAZ SERRANO, F R. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción Torreón, Coah, México, Octubre 13, 14 y 15 del 2004. pp 44 – 68. <http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio4/04-Seleccion-sustratos-prodhortinvernadero.pdf>

DE BOODT, M.; VERDONCK, O.; CAPPAERT, I. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae.* 37: 2054-2062

DE BOODT, M; VERDONCK O. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 26: 37-44.

DELAPLANE, K. S.; MAYER D. F. 2000. *Crop Pollination by bees*. New York, USA. CABI Publishing. pp: 344.

- D'ANGELO, G.; TITONE, P. 1988. Determination of the water and air capacity of 25 substrates employed for the cultivation of *Dieffenbachia amoena* and *Euphorbia pulcherrima*. *Acta Horticulturae*. 221: 175-182.
- FONTENO, W. C. 1994. Growing media. In: Holcomb, E.J. (Ed.). *Bedding Plants*. Fourth Edition IV. Illinois, USA. Food and Agricultural Organization (FAO). 2013. "Base de datos estadísticos". <http://www.faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E> (consulta 2 de octubre de 2013).
- GALLETTA, G. J.; BRINGHURST, R. S. 1990. Strawberry management. In: Galletta, G. J.; Himelrick, D. G.; Chandler, L. *Small Fruit Crop Management*. New Jersey: Prentice Hall Career & Technology. pp. 83-156.
- GÁRATE, A.; MANZANARES, M.; RAMÓN, A.M.; CARPENAR, R.O. 1991. Boron requirements of strawberry (*Fragaria ananassa* L. cv. douglas) grown in hydroponic culture. *Acta Hort*. 287:207-210
- GARCÍA, O.; ALCÁNTAR, G.; CABRERA, R.I.; GAVI, F.; VOLKE, V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivada en maceta. *Terra* 19: 249-258.
- HANCOCK, J. F.; BRINGHURST, R. S. 1979. Ecological differentiation in perennial octoploid species of *Fragaria*. *American Journal of Botany* 66 (4):367-375
- HANCOCK, J. F. 1999. *Strawberries*. CAB International Publishing. New York, USA. 237 p.
- HOLZAPFEL, C.; ALPERT, P. 2003. Root Cooperation in a Clonal Plant: Connected Strawberries Segregate Roots. *Oecologia* 134(1): 72-77.

- JOHNSON, A. W.; GRANT, O. M.; DAVIES, M. J.; JAMES, C.M.; PASSEY, A.J.; SIMPSON, D.W. 2009. Determining the response of ten strawberry cultivars to water-limited conditions. *Acta Hort.* 842: 769-772.
- KARAKLAJIĆ, Ž.; PEŠAKOVIĆ, M; MILETIĆ, R.; RUŽIĆ, Đ.; MILOŠEVIĆ, T. 2013. Macronutrients content in leaves of red raspberry 'Willamette' as affected by foliar fertilization and substrate. *Acta Hort.* 981: 607-612
- KLOUGART, A.; BAGGE, O. 1969. Nutrition of container plants. *Acta Hort.* 15:34-36
- LIND, K.; LEFER, G.; SCHLOFFER, K.; INNERHOFER, G.; MEISTER, H. 2003. *Organic Fruit Growing*. Massachusetts, USA. CABI Publishing. 281 p.
- LEMAIRE, F.; DARTIGUES, A.; RIVIERE, L.M. 1980. Properties of substrates with ground pine bark. *Acta Horticulturae.* 99: 67-80
- LEMAIRE, F. 1995. Physical, chemical and biological properties of growing medium. *Acta Horticultura.* 396,1995. 273-284.
- LAMARRE, M.; LAREAU, M.J. 1997. Influence of nitrogen, potassium and magnesium fertilization on day-neutral strawberries in QUEBEC. *Acta Hort.* 439:701-704.
- LI, Q.Y.; Ge, H.B.; Hu, S.M. 2010. Effects of exogenous putrescine and calcium on growth and ions assimilation of strawberry seedlings under nacl stress. *Acta Hort.* 856:187-193
- MALAVOLTA, E. 1995. Nutrición y fertilización de los cítricos. *In*. Fertilización de cultivos de clima medio. GUERRERO, R. (Eds.). Monomeros Colombo Venezolanos, Bogota, Colombia. pp. 130-170.

- MARFÁ, O.; MARTINEZ, A.; OROZCO, R.; SERRANO, L.; MARTINEZ, F. X. 1993. Physical properties, rheologic effects and productivity. *Acta Horticulturae*. 342: 339-348.
- MAROTO, J.V.; LÓPEZ, S.1988. Producción de fresas y fresones. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 107 p.
- MARTÍNEZ, F. X.; BURÉS, S.; BLANCA, F.; YUSTE, M. P.; VALERO, J. 1991. Experimental and theoretical air/water ratios of different substrate mixtures at container capacity. *Acta Horticulturae*. 294: 241-248
- MASS, J. L. 1998. Compendium of Strawberry Diseases. Amer. Phytopath. Soc. St. Paul, Minnesota, USA. 138 p.
- MICHEL, J. C. 2007. Physical properties of growing media: state of the art and future challenges. *Acta Hort*. 819: 65-72.
- MICHEL, J. C.; KERLOCH, E.; BOZON, E.; CANNAVO, P. 2013. Consequences of root development on the evolution of hydraulic properties of peat growing media under a constant and optimal water regime. *Acta Hort*. 1013. 159-166.
- MOLINA, E.; SALAS, R.; CASTRO, A. 1993. Curva de crecimiento y absorción de nutrimentos en fresa. *Agronomía Costarricense*. 17(1): 67-73.
- OROZCO, R; MARFÁ, O. 1995. Granulometric alteration, air-entry potential and hydraulic conductivity in perlites used in soilless cultures. *Acta Horticulturae* 408: 147-161.
- PASTOR S, J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamérica*. 17(3): 231-235.
- PEÑUELAS, J.C.; OCAÑA, L. 1996. Cultivo de Plantas Forestales en Contenedor. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 200 p.

- PÉREZ A., J. L. 1979. Cultivo de Fresas. Madrid, España. Publicaciones de Extensión Agraria. 188 p.
- PRASAD, M; NÍ CHUALÁIN, D. 2004. Relationship between particle size and air space of growing media. *Acta Horticulturae* 648: 161-166.
- PRITTS, M. P.; HANDLEY. D. 1998. Strawberry Production Guide for the Northeast, Midwest and Eastern Canada. NRAES. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. Ithaca, New York. 88 p.
- RAVIV, M.; WALACH, R.; SILBER, A.; BAR, A. 2002. Substrates and their analysis, pp. 25-101. *In: Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. SAVVAS, D.; PASSAM, H. (Eds.). Embryo Publications, Athens Greece.
- RIVIERE, L. M.; MILHAU, C. 1983. The use of Wood waste composts in the making of substrates for container crops. *Acta Horticulturae*. 150: 475-489.
- REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. 1986. Plant Analysis and Interpretation Manual. Inkata Press. Sydney, Australia. 271 p.
- RHOADES, J. D.; MIYAMOTO, S. 1990. Testing soils for salinity and sodicity, pp. 299-333. *In. Soil Testing and Plant Analysis*. Westermen, R. L. (Eds.). Soilscience Society of Amerca, Inc. Wisconsin, USA.
- RODRÍGUEZ D., E.; SALCEDO P., E.; RODRÍGUEZ M., R.; GONZALEZ E., D. R.; MENA M., S. 2013. Reúso del tezontle: efectos en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra latinoamericana*. 31(4): 275-284.
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). 2013. <http://www.siap.gob.mx> (consultado 19 de septiembre de 2013).

- STANLEY, C. D.; MAYNARD, D. N. 1990. Vegetables, 922-950. *In*: Irrigation of Agricultural Crops. STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Eds.). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of América.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W.L.; BEATON, J. D. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. 4^a ed. Macmillan. New York. 754 p.
- TREJO T., L. I.; RAMÍREZ M., M.; GÓMEZ M., F. C.; GARCÍA A., J. C.; BACA C., G.A.; TEJEDA S., O. 2013. Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Num. 5 2013: 863-876
- TOIRAC, C. J. 2012. Caracterización granulométrica de las plantas productoras de arena en la República Dominicana, su impacto en la calidad y costo del hormigón. *Ciencia y Sociedad* 37(3): 293-334
- URRESTARAZU, M. 2004. Tratado de Cultivo Sin Suelo. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España. 914 p.
- US DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). 2010 "Global Agricultural Trade System" (GATS) Disponible en: <http://www.usda.gov> (consulta 2 de octubre de 2013).
- VEGA R., R. 2008. Manejo de la producción de fresa en hidroponía e invernadero, pp 141-159. *In*: Agronomía de la Fresa Principios y Nuevas Tecnologías. Velázquez M., M. A.; Pimentel E., J. L. (Eds.). Instituto Politécnico Nacional. México.
- VELÁZQUEZ I., M; VELÁZQUEZ I., G.; BASTIDA T., A.; REYES R., D.A.; HERNÁNDEZ O., J.; MORALES P., J.; FLORES E., G. 2004. Manejo de Cultivos Hidropónicos

Bajo Invernadero. UACH Departamento de Preparatoria Agrícola. Texcoco, México. 313 p.

VENEGAS G., J.; MÉNDEZ I., C.; NAVA V., J. 2008. Bases de la producción orgánica de fresa, p. 119-138 In: Agronomía de la Fresa Principios y Nuevas Tecnologías. Velázquez M., M. A.; Pimentel E., J. L. (Eds.). Instituto Politécnico Nacional. México.

VERDONCK, O. 1983. Reviewing and evaluation of new materials used as substrates. *Acta Horticulturae*. 150: 467-473.

ZAPATA, N.; GUERRERO, F.; POLO, A. 2005. Evaluación de cortezas de pino y residuos urbanos como componentes de sustratos de cultivo. *Agricultura Técnica*. 65(4): 378-387.