



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE FRESA CON SISTEMAS ALTERNATIVOS EN TRASPLANTE Y NUTRICIÓN

VIRIDIANA GARCÍA CASTELLANOS

T E S I S

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

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018

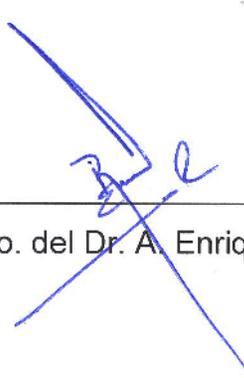
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y
DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe, **“Viridiana García Castellanos”**, Alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor **“A. Enrique Becerril Román”**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **“Producción orgánica de fresa con sistemas alternativos en trasplante y nutrición”**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 7 de Septiembre 2018



Viridiana García Castellanos



Vo. Bo. del Dr. A. Enrique Becerril Román

La presente tesis titulada: **PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE FRESA CON SISTEMAS ALTERNATIVOS EN TRASPLANTE Y NUTRICIÓN**, realizada por la alumna: **VIRIDIANA GARCÍA CASTELLANOS**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

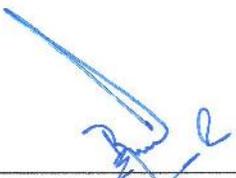
MAESTRA EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. A. ENRIQUE BECERRIL ROMAN

ASESOR:



DR. GUILLERMO CALDERÓN ZAVALA

ASESOR:



DR. VICENTE ESPINOSA HERNÁNDEZ

ASESOR:



M.C. DAVID JAÉN CONTRERAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, septiembre de 2018

PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE FRESA CON SISTEMAS ALTERNATIVOS EN TRASPLANTE Y NUTRICIÓN

Viridiana García Castellanos, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la producción orgánica de fresa con sistemas alternativos en trasplante y nutrición, cultivadas bajo condiciones de invernadero, en tezontle como sustrato y con riego por goteo, en las instalaciones del Colegio de Postgraduados. Se utilizaron tres orígenes de planta de vivero: Raíz desnuda, cepellón conectado a la madre y cepellón desconectado de la madre. Los seis tratamientos de fertilización fueron: Q= fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de hongos micorrízicos arbusculares (HMA); O 1= fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O 2= fertilización orgánica con 15 g de HMA y Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA. Se muestrearon frutos para medir variables de calidad, durante un periodo de 156 días después de trasplante (ddt), realizando seis muestreos en diferentes fechas; la mayor concentración de sólidos solubles totales (SST), se obtuvo con la fertilización orgánica con 10 g de HMA (O 1); la firmeza fue mayor en frutos con fertilización química con 20 g de inóculo micorrizico (Q-M 3), en los muestreos 1, 2 4 y 5, con valores de 1.1, 1.1, 1.3 y 1.6 Newtons; la concentración de acidez titulable fue menor en plantas solamente fertilizadas con compuestos orgánicos y 15 g de inóculo micorrizico, con valores de 0.8 y 0.9%; la concentración de vitamina C presentó diferencias significativas solo para la fecha de muestreo 1 (156 ddt) donde se obtuvieron los frutos con la mayor concentración de vitamina C (44.7 mg 100 g fruta⁻¹). La mayor calidad del fruto se presentó en plantas fertilizadas con la combinación química más orgánica con 15 g de HMA (Q-O 2), de acuerdo a la clasificación utilizada por el USDA 1997. El porcentaje de colonización total es significativamente mayor para las plantas que fueron fertilizadas con la combinación química más orgánica con 15 g de inóculo micorrizico, presentado un valor de 38.35%. La mayor concentración de

nitrógeno se obtuvo en la raíz, para las plantas con solo fertilización orgánica con 15 g de HMA (O 2), con 14.65 mg g^{-1} de MS. La concentración de potasio fue más alta en plantas con fertilización química más 20 g de inóculo de micorriza (Q-M 3), principalmente en las hojas, peciolo y fruto (104.94 mg g^{-1} de MS, 4.94 mg g^{-1} de MS y 5.15 mg g^{-1} de MS respectivamente). La concentración de Ca fue mayor en raíz en el tipo de fertilización química más orgánica con 15 g de HMA (Q-O 2), registrando un valor de 11.97 mg g^{-1} de MS. Finalmente se concluyó que la combinación de una fertilización química más orgánica presentó diferencias significativas en las variables de calidad de fruto con excepción de la concentración de vitamina C en comparación con la fertilización química para el cultivar Zamorana.

Palabras clave: fertilización orgánica, micorriza.

ORGANIC STRAWBERRY PRODUCTION WITH ALTERNATIVE TRANSPLANTATION SYSTEMS AND NUTRITION.

Viridiana García Castellanos, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

In the present work, organic strawberry production was evaluated with alternative systems in transplant and nutrition, cultivated under greenhouse conditions, in volcanic rock as substrate and with drip irrigation, in the facilities of the Colegio de Postgraduados. Three sources of nursery plants were used: bare root, root ball connected to the mother and root ball disconnected from the mother. The six treatments of fertilization were: Q = chemical fertilization; Q-O 1 = Chemical fertilization more organic with 10 g of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF); O 1 = organic fertilization with 10 g of AMF; Q-O 2 = Chemical fertilization more organic with 15 g of AMF; O 2 = organic fertilization with 15 g of HMA and Q-M 3 = Chemical fertilization with 20 g of AMF. Fruit were sampled to measure quality variables, during a period of 156 days after transplant (dat), making six samplings in different dates. In the concentration of total soluble solids (TSS) the highest was obtained with organic fertilization with 10 g of AMF (O 1). The firmness was greater in fruits with chemical fertilization with 20 g of mycorrhizal inoculum (Q-M 3), in samplings 1, 2 4 and 5, with values of 1.1, 1.1, 1.3 and 1.6 newtons. The concentration of titratable acidity was lower in plants only fertilized with organic compounds and 15 g of mycorrhizal inoculum, with values of 0.8 and 0.9. The concentration of vitamin C showed significant differences only for the date of sampling 1 (156 dat) where the fruits with the highest concentration of vitamin C (44.7 mg 100 g fruit⁻¹) The highest quality of the fruit was presented in plants fertilized with the most organic chemical combination with 15 g of AMF (Q-O 2), according to the classification used by the USDA 1997. The percentage of total colonization is significantly higher for the plants that were fertilized with the most organic chemical combination with 15 g of mycorrhizal inoculum, presented a value of 38.35%. The highest concentration of nitrogen was obtained in the root, for the plants with only organic fertilization with 15 g of AMF (O 2), with 14.65 mg g⁻¹ DM.

The concentration of potassium was higher in plants with chemical fertilization plus 20 g of mycorrhizal inoculum (Q-M 3), mainly in the leaves, petiole and fruit (104.94 mg g⁻¹ MS, 4.94 mg g⁻¹ MS and 5.15 mg g⁻¹ of MS respectively). The concentration of Ca was higher in root in the plus organic type with 15 g of AMF (Q-O 2), registering a value of 11.97 mg g⁻¹ DM. Finally, it was concluded that the combination of chemical fertilization plus organic presented significant differences in the fruit quality variables with the exception of the concentration of vitamin C compared to the chemical fertilization for the cultivar Zamorana.

Key words: organic fertilization, mycorrhiza.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud y fuerza para lograr todos mis objetivos.

A mis padres por darme la vida, pero principalmente a mi madre por darme una adecuada formación, que me ha permitido disfrutar de todos los logros presentes en la vida.

A mis hermanos por apoyarme física y moralmente en todos los momentos que los he necesitado.

A mi consejo particular los doctores A. Enrique Becerril Román, Guillermo Calderón Zavala y Vicente Espinosa Hernández y maestro David Jaén Contreras, que me brindaron su apoyo desinteresado y tiempo para realizar el presente trabajo.

Al Dr. Ciro Velazco Cruz, quien me brindo la asesoría estadística.

Al Dr. Crescenciano Saucedo Veloz, quien dirigió la escritura del artículo científico.

A todos aquellos compañeros que hicieron de mi paso por el Colegio una gran experiencia.

Agradezco el apoyo a la Comisión Nacional de la Ciencia y Tecnología (CONACYT), por permitirme realizar una maestría.

Agradezco al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo por brindarme la oportunidad de estudiar y desarrollarme profesionalmente durante mi estancia en sus instalaciones

DEDICATORIA

A mi madre Graciela Castellanos del Toro (q.e.p.d.†), por enseñarme el camino a seguir y por darme todo su apoyo en cuanto le fue posible.

A mis hermanos Lorena, Karina y Josué García Castellanos, quienes son mi ejemplo a seguir.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
DEDICATORIA	ix
LISTA DE CUADROS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE FOTOGRAFÍAS	xvi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.2. HIPÓTESIS	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Importancia mundial de la fresa	4
2.2. Situación Actual de la Fresa en México	4
2.3. Sistemas de producción.....	5
2.4. Requerimientos agroecológicos.....	6
2.5. Factores ecológicos determinantes para la producción de fresa	7
2.6. Viveros de producción comercial de planta de fresa en México	8
2.7. Requerimientos nutrimentales.....	11
Nitrógeno	12
Fósforo.....	13
Potasio.....	14
Calcio.....	15
Magnesio	15
Boro	16
Hierro	16
2.8. Propagación en planta de fresa	17
2.9. Producción de estolones.....	19
Cosecha de estolones	20
2.10. Trasplante de plantas de fresa.....	20
2.11. Fertilización orgánica en el cultivo de fresa	22

2.11.1 Uso de hongos micorrizicos (HMA).....	22
Efecto de HMA en la planta	23
Calidad generada en planta y fruto con el uso de HMA.....	24
2.11.2. Uso de estiércol en cultivos	24
2.11.3. Uso de algas marinas en la agricultura	25
2.11.4. Uso de compost en la agricultura.....	26
2.11.5. Uso de extractos vegetales para el control de plagas y enfermedades	28
2.12. Sustratos o soportes de crecimiento	28
Tezontle	29
Fibra de coco	30
Vermiculita	30
Arena	31
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. Ubicación el experimento	32
3.2. Material biológico	32
3.3. Propagación de planta en campo.....	33
3.4. Fase de invernadero	36
3.4.1 Sistema de riego.....	37
3.4.2. Tratamientos de fertilización y diseño experimental de los tratamientos	38
3.4.3 Humedad y temperatura del ambiente.....	39
3.5. Muestreo de frutos y órganos de la planta	41
3.6. Variables	42
3.6.1. Sistema de plantación	42
Porcentajes de establecimiento	42
Inicio de floración.....	42
Dinámica de producción de fruto por planta y peso de los frutos cosechados por planta.....	42
3.6.2. Fruto.....	42
Sólidos solubles totales (SST)	42

Firmeza.....	43
Acidez titulable.....	44
Contenido de Vitamina C	44
Calidad del fruto.....	45
3.6.3. Hongos micorrízicos.....	45
Porcentaje de colonización micorrizica en raíces	45
3.6.4. Concentración de nutrimentos (N, P, K y Ca)	46
Determinación de nitrógeno total	46
Determinación de fósforo total	47
Determinación de potasio	47
Determinación de calcio	48
3.7. Diseño Experimental y Análisis de datos	48
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1. Porcentaje de establecimiento	49
4.2. Inicio de floración	50
4.3. Dinámica de producción.....	52
Número de frutos	52
Peso promedio de los frutos	55
4.4. Contenido de sólidos solubles totales (SST).....	56
4.5. Firmeza	58
4.6. Acidez titulable	60
4.7. Vitamina C	62
4.8. Calidad del fruto	65
4.9. Porcentaje de colonización micorrízica en raíces	66
4.10. Concentración de nitrógeno total	67
4.11. Concentración de fósforo total	68
4.12. Concentración de potasio	69
4.13. Concentración de Calcio	71
5. CONCLUSIONES	72
6. BIBLIOGRAFÍA	73

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación del nivel de tecnología empleado para la producción de fresa.	6
Cuadro 2. Manejo de los viveros para la propagación de planta de fresa en México y en el estado de California (Dávalos, 1982).	10
Cuadro 3. Tratamientos de fertilización utilizados en el experimento.....	38
Cuadro 4. Clasificación de frutos de fresa (USDA, 1997).....	45
Cuadro 5. Porcentaje de establecimiento de plantas en los 18 tratamientos evaluados.....	49
Cuadro 6. Fechas en las que se registró el inicio de floración en los diferentes tratamientos evaluados.	51
Cuadro 7. Efecto de los tipos de fertilización y el origen de planta en vivero sobre la variable número de frutos por planta, en las diferentes fechas de muestreo.....	53
Cuadro 8. Efecto de los tipos de fertilización y el tipo de planta en vivero sobre peso promedio de los frutos, en las diferentes fechas de muestreo.	56
Cuadro 9. Efecto del tipo de fertilización y de reproducción de planta en vivero (factor A y B), sobre la concentración de sólidos solubles totales (SST) en frutos en los tiempos de cosecha.....	57
Cuadro 10. Efecto del tipo de fertilización y el tipo de planta en vivero sobre la variable firmeza (newtons) de frutos de fresa en los tiempos de cosecha.....	58
Cuadro 11. Efecto de los tipos de fertilización y el tipo de planta en vivero sobre la variable acidez titulable (% de ácido cítrico) de frutos, en los tiempos de cosecha.	61
Cuadro 12. Efecto de los tipos de fertilización y el tipo de planta en vivero sobre la concentración de vitamina C ($\text{mg } 100 \text{ g fruta}^{-1}$) en frutos, en las fechas de muestreo.	63
Cuadro 13. Clasificación de los frutos de fresa en los diferentes tipos de fertilización.	65

Cuadro 14. Concentración de nitrógeno en los órganos de la planta expresada en mg g ⁻¹ de materia seca en diferentes tipos de fertilización.	68
Cuadro 15. Concentración de fósforo en cuatro órganos de plantas de fresa expresada en mg g ⁻¹ de materia seca en diferentes tipos de fertilización.	69
Cuadro 16. Concentración de potasio en cuatro órganos de plantas de fresa expresada en mg g ⁻¹ de materia seca en diferentes tipos de fertilización.	70
Cuadro 17. Concentración de calcio en cuatro órganos de plantas de fresa expresada en mg g ⁻¹ de materia seca en diferentes tipos de fertilización.	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Temperaturas (°C) promedio por mes durante registrada en tres horarios distintos 8 am (T.8), 12 pm (T. 12) y 2 pm (T. 2), durante periodo de investigación.....	40
Figura 2. Porcentaje de humedad relativa (HR) promedio por mes registrada en tres horarios, 8 am (HR. 8), 12 pm (HR. 12) y 2 pm (HR. 2), durante el periodo de evaluación.	40
Figura 3. Temperatura (Temp.) y humedad relativa (HR) promedio registrada durante el periodo de estudio.....	41
Figura 4. Dinámica de producción de frutos promedio por planta en respuesta a fechas de cosecha.	54
Figura 5. Efecto de la combinación de tratamientos sobre la variable firmeza a través de las fechas de muestreo.	59
Figura 6. Porcentaje de ácido cítrico en frutos de fresa con diferentes tratamientos de fertilización en las distintas fechas de muestreo.....	62
Figura 7. Promedio de la concentración de vitamina C (mg 100 g fruta ⁻¹) de los tratamientos de fertilización en correlación con las temperaturas del día del muestreo.	64

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Ubicación del sitio de experimento. Fuente: Google earth 2018..	32
Fotografía 2. Material biológico (a) planta y b) espora) utilizado en el trabajo experimental.....	33
Fotografía 3. Etapas de la instalación del vivero para propagación de la planta.	34
Fotografía 4. Preparación y establecimiento de las plantas con cepellón.....	35
Fotografía 5. Plantas con cepellón desconectado de la madre.....	36
Fotografía 6. Medición a) longitud de raíz y b) diámetro de corona.	36
Fotografía 7. Establecimiento de las plantas hijas para realización del estudio...	37
Fotografía 8. Instalación del sistema de riego.....	37
Fotografía 9. Determinación del porcentaje de sólidos solubles totales (SST) en fruto de fresa.	43
Fotografía 10. Medición de firmeza en fruto de fresa.	43
Fotografía 11. Titulación de la muestra con NaOH.	44
Fotografía 12. Tinción y montaje de raíces.	46

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 60 años, México ha figurado entre los 10 principales países productores de fresa y entre los primeros tres exportadores de fresa congelada. La productividad y calidad de la fruta nacional ha registrado incrementos modestos, aunque en el mercado mundial la presencia del producto se ha basado, principalmente, en los bajos costos de producción. En las últimas décadas, la demanda de los consumidores ha variado significativamente, se estima que, para el futuro inmediato, el mercado exigirá solo fruta inocua, producida bajo sistemas orgánicos y con alta calidad (Rubio *et al.*, 2014).

La competitividad y rentabilidad de la industria de la fresa en México, dependerá de la adopción de mejores técnicas de cultivo y de la diversificación de los mercados (Estrada, 2011).

Actualmente, el uso de abonos orgánicos de origen animal o vegetal, los microorganismos, la vermicomposta, los biofertilizantes y los ácidos fúlvicos, entre otros, son la alternativa de los productores, para complementar la nutrición de los cultivos y así reducir significativamente los costos de producción y el uso de fertilizantes sintéticos (Planes *et al.*, 2004; Armenta-Bojorquez *et al.*, 2010).

Entre los microorganismos que pueden destacar por su función ecológica, los hongos formadores de micorrizas; éstos generan una simbiosis mutualista que tiene como función aumentar la superficie de absorción de la raíz, por medio de un sistema de hifas extrarradicales (Castro, 2009); por ello, pueden ser contempladas como una herramienta de manejo sostenible del suelo, dado que contribuyen con el aumento de productividad de los cultivos, regeneración de comunidades vegetales degradadas y mantenimiento del equilibrio del ecosistema (Guerra, 2008).

Actualmente existen diversos tipos de presentación de las plantas de fresa para trasplante: a raíz desnuda, que es la más común; en cepellón; y en papel biodegradable, de mayor difusión en países orientales (Gutiérrez *et al.*, 2009). Las plantas a raíz desnuda son, quizá, el método más fácil y económico para obtener

plantas, sin embargo, puede ser el menos eficiente, debido a que la calidad de las plantas dependerá de las condiciones en las que se producen (Quiroz *et al.*, 2009); es por esto, que las plantas de fresa con cepellón están reemplazando rápidamente las plantas de raíz desnuda en muchas partes del mundo, debido a que las plantas cultivadas en charolas, suelen ofrecer una mejor oportunidad para controlar factores críticos de producción, que influyen en la salud del establecimiento del trasplante, rendimiento temprano, rendimiento total, y tamaño y demás características del fruto (Durner *et al.*, 2002).

Por décadas, los productores de fresa de México emplearon sistemas de producción con poco uso de tecnología y baja inversión de capital (bajos costos de producción), lo que les permitía competir, tanto en el mercado nacional, como en el internacional. Sin embargo, con la presencia de nuevos competidores y exigencias de inocuidad de los consumidores, hizo que surgieran otro tipo de necesidades, las que el agricultor ya está empezando a considerar (Dávalos *et al.* 2011).

Por ello, con base en las demandas de los agricultores de Michoacán, Jalisco y otros estados productores de fresa, para mejorar sus sistemas de producción y cubrir las necesidades actuales del mercado, el presente proyecto de investigación estudia diversos sistemas de producción, con la finalidad de obtener la información necesaria que sirva de apoyo a los productores, en cuanto a la toma de decisión del tipo de planta de fresa (a raíz desnuda o a cepellón) a establecer, así como determinar los efectos en productividad y calidad de fruto de la nutrición orgánica a base de composta de caprino y de la micorriza *Funneliformis mosseae*.

Se pretende demostrar la alternativa a un sistema convencional, que mejore la rentabilidad del cultivo, incremente el aprovechamiento de la ventana de exportación en fresco, abata costos de producción, reduzca el uso de pesticidas y obtenga una fruta de buena calidad, tanto como o mejor, que se obtiene de una producción inorgánica.

El reto es vincular los resultados del proyecto con las necesidades de los productores de fresa de los estados con mayor producción.

No obstante lo anterior y la trascendencia de la nutrición orgánica, acompañada de compostas y micorrizas, existe poco conocimiento en México sobre sus efectos en huertos de fresa y su actividad a través de los años. Por ello, el presente estudio se plantea los siguientes objetivos e hipótesis:

1.1. OBJETIVOS

General

Evaluar la producción orgánica de fresa con sistemas alternativos en el trasplante y la nutrición.

Particulares

Evaluar la productividad y la calidad de fresa producida en sistemas orgánicos con composta de caprino y micorrizas (*Funneliformis mosseae*).

Evaluar el porcentaje de colonización micorrizica en plantas de fresa en condiciones de manejo orgánico con composta de caprino.

Determinar la influencia de los tipos de fertilización en la concentración de nutrimentos (N, P, K y Ca) en cuatro órganos de la planta de fresa (hoja, peciolo, raíz y fruto).

1.2. HIPÓTESIS

El crecimiento y calidad de los frutos en las plantas trasplantadas con cepellón, en un sistema de cultivo con la combinación de químico y orgánico, será mayor en comparación con aquellas en un sistema químico.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia mundial de la fresa

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) es un producto de amplio consumo, los cultivares más utilizados en la actualidad, son producto del mejoramiento genético, a partir de *Fragaria vesca*, *Fragaria chiloensis*, *Fragaria virginiana* y *Fragaria grandiflora* (Kessel, 2012). El fruto de la fresa es reconocido en el mundo por su sabor y riqueza en vitamina C y minerales (hierro, ácido fólico y ácido salicílico) además, de una diversidad de usos en el sector industrial tales como, elaboración de mermeladas, purés, concentrados o helados (Santoyo, 2009).

En la producción a nivel mundial, China ocupó el primer lugar en 2016, con 3,793,864 t, aportando 40 % de la producción mundial; México, con 360, 426 t, ocupó el tercer puesto como productor con 10 %; Turquía, con 415,150 t, con 10 %; y España, con 366,161 t, equivalente a 8 % (FAOSTAT, 2017).

Los principales países importadores de fresa son Canadá, Estados Unidos de América, Alemania, Francia y Reino Unido; Canadá y Francia ocuparon los primeros lugares en cuanto al valor de sus importaciones, con 319, 463 miles de dólares y 267, 669 miles de dólares (FAOSTAT, 2017). México se encuentra dentro de los primeros países exportadores de fresa a nivel mundial, ocupando el segundo lugar, con 680.8 millones de dólares. Los otros son España, con 821, 831 millones de dólares; Estados Unidos de América, con 508, 371 millones de dólares; Países Bajos, con 303, 606 miles de dólares; Bélgica, con 173, 801 miles de dólares y Marruecos, con 78, 761 miles de dólares (Ramírez-Padrón, 2016).

2.2. Situación Actual de la Fresa en México

El cultivo de la fresa (*Fragaria x ananassa*) en México se inició a mediados del siglo XIX en el estado de Guanajuato. Inicialmente la producción se concentró en cubrir las necesidades del mercado nacional y fue hasta el año de 1950 cuando aumentó su importancia, gracias a las exportaciones a los Estados Unidos de América; esto hizo que el cultivo se extendiera a varios estados del país, como Baja California Sur y Baja California, Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán y

Sinaloa (SIAP, 2016), conjuntamente con la instalación de congeladoras y empacadoras en de las regiones freseras (Barreiro, 1998). La fruta es consumida principalmente en fresco, como estrategia para incrementar el rendimiento se ha establecido su cultivo en sistemas especializados de producción. México registró en 2016 una superficie cultivada de fresa de 11,092 ha, obteniéndose una producción de 468,275 t, siendo Michoacán la entidad donde se concentra la mayor producción nacional con una superficie cultivada de 5,870 ha, y una producción superior a las 252,599 t. (SIAP, 2016). En el caso de la exportación de fresa mexicana en 2016, se ubicó en el segundo sitio, con un monto de 358, 287 t, lo cual comparado con la exportación en 2010 muestra un incremento del 205 % en las exportaciones mexicanas de este fruto, siendo su principal mercado los Estados Unidos de América (FAOSTAT, 2017).

2.3. Sistemas de producción

En los últimos años, los cultivos hortícolas han presentado una tendencia hacia la obtención de productos de manera anticipada o fuera de estación, lo cual se realiza en condiciones diferentes a las de campo abierto, en la agricultura protegida se utilizan diferentes cubiertas y materiales para realizarlo, modificando las condiciones del ambiente, con lo que se hacen más propicias para el desarrollo del cultivo de fresa, hasta el 2010 en México, los invernaderos constituían el 44 % y las mallas sombra el 51 % de la superficie total sembrada (Juárez *et al.*, 2011). La calidad de fresa depende principalmente de la apariencia (tamaño, color, forma y ausencia de defectos) y firmeza, aspectos que con el uso de macro túneles se han controlado (Hallidri, 2001); adicionalmente, los macro túneles incrementan la eficiencia en el uso de agua de riego y fertilizantes, con el propósito de incrementar el rendimiento de los cultivos, mejoran la calidad de los frutos y aumentan la precocidad de las cosechas (Fan *et al.*, 2005).

La fresa en México es un cultivo relevante que va en aumento, no sólo en cuanto a la producción, sino también, en términos de la aplicación de la tecnología. Su producción se clasifica de acuerdo con el nivel de tecnología usada, identificada como, tradicional, semi-tecnificada y tecnificada (Cuadro 1); esta última es la ideal

para obtener fresa de calidad, sanidad e inocuidad que los mercados nacional e internacional demandan.

Cuadro 1. Clasificación del nivel de tecnología empleado para la producción de fresa.

Sistemas de producción	Descripción	Rendimiento promedio (t ha ⁻¹)
Sistema tradicional	Bajo este sistema la fruta se desarrolla sobre la tierra y tiene contacto directo con el agua de riego, que es por gravedad aplicado por aprovechando el agua superficial. En este sistema no se utilizan cubiertas protectoras. El rendimiento por hectárea es bajo además de desarrollarse en condiciones que limitan lograr la inocuidad de la cosecha.	26
Semi tecnificado	Bajo este sistema se emplea el riego por goteo utilizando aguas superficiales o aguas subterráneas. Se utilizan cubiertas plásticas, por lo que la fruta no tiene contacto directo con el suelo. Existe menor posibilidad de presencia de enfermedades.	32
Tecnificado	Bajo este sistema se utilizan principalmente aguas subterráneas o agua superficial limpia (manantial). Se emplea riego por goteo, acolchado y la totalidad de la superficie está cubierta con lonas plásticas (macro túnel).	80

2.4. Requerimientos agroecológicos

El cultivo de fresa se clasifica de acuerdo con el fotoperiodo que se recomienda para cada variedad, así, pueden ser de día largo, corto o neutro, la selección de plantas según esta característica depende de la zona geográfica donde se ubique el cultivo (Bonilla 2011).

Los cultivares de fresa de día largo, forman su brote floral en los días largos del verano (Darrow y Waldo, 1934), respuesta que fue confirmada por Downs y Piringer (1955) en experimentos con tres cultivares en constante crecimiento. Sin embargo, muchas publicaciones posteriores afirman que los cultivares cada vez más son de día neutro y florecen independientemente de la duración del día y sus condiciones (Galletta y Bringham, 1990).

Las plantas de día corto, son variedades que responden al fotoperiodo de día corto, que requieren días con una duración menor de 14 horas de luz para el desarrollo de yemas florales ('Camarosa', 'Festival', 'Zamorana'). Por otra parte,

las plantas de día neutro son variedades, que no presentan respuesta al fotoperiodo (duración del día); requieren de temperaturas en el suelo superiores a los 12°C para el desarrollo de yemas. La producción y el tamaño de los frutos será más homogéneo dependiendo de la variedad; por lo general, la producción con plantas de día neutro es más estable lo cual ayuda para realizar los estimados de cosecha y planeación (Mendieta, 2011).

2.5. Factores ecológicos determinantes para la producción de fresa

Temperatura: el punto de congelación de la fresa se encuentra entre los -1 y -1.5°C, mientras que el punto de crecimiento cero es de 2 a 5°C; la temperatura diurna óptima oscila entre 15 y 18°C, mientras que la nocturna ente 8 y 10°C (Yuste, 1997). Temperaturas por debajo de 12°C durante el amarre de frutos, dan lugar a frutos deformados por el frío. Un periodo prolongado de tiempo muy caluroso (>25°C) puede originar una maduración y coloración del fruto demasiado rápida, lo cual le impide adquirir un tamaño adecuado para su comercialización (Morgan, 2002.).

El endoletargo se presenta con días cortos y temperaturas bajas (Shoemaker y Greve, 1930), de la misma forma se puede promover o forzar su término, para dar paso al nuevo desarrollo de las plantas, con temperaturas continuas desde 10°C, no así con temperaturas de 14°C o más (Kronenberg *et al.*, 1976). Según el cultivar serán necesarias entre 350 y 450 unidades frío para concluir el letargo e iniciar la brotación (Sudzuki, 1988).

Fotoperiodo: la duración del periodo iluminado y la temperatura controlan significativamente el crecimiento vegetativo y la floración (Santibáñez, 1994). Días cálidos y largos favorecen el crecimiento de la hoja y la formación de la guía (Heide, 1977). Días cortos, despejados y fríos favorecen la floración (Sudzuki, 1988).

Humedad relativa (HR): El intervalo óptimo de humedad relativa oscila entre el 65 y 70%. Si la presencia de humedad es excesiva favorece la presencia de enfermedades, mientras que si es deficiente, provoca daños en la producción (Hatfield y Prueger, 2015).

Luz: En cuanto a requerimiento de iluminación, las plantas de fresa requieren 12 h diarias de luz para tener buena productividad. Prefiere una condición media de iluminación con excepción de la época de cosecha (Benacchio, 1989).

Sustrato: Requiere suelos, preferiblemente arenosos o franco-arenosos, con buena capacidad de aireación y drenaje y alto contenido en materia orgánica (Benacchio, 1982).

Potencial de hidrógeno (pH): el óptimo para el cultivo de fresa es de 6.5 a 7.5, aunque en unos suelos puede ser de 5.5 a 6.5 (Ruiz *et al.*, 1999).

Conductividad eléctrica (CE): de 1.8 a 2.0 mS cm⁻¹ en verano y 2.5 a 3.0 mS cm⁻¹ en invierno, estas modificaciones aseguran un buen rendimiento y fruta de alta calidad (Morgan, 2000).

Consumo hídrico: el óptimo es de 400 a 600 mm anuales, y absorbe la mayor parte de sus necesidades en los primeros 30-40 cm de profundidad, para cultivo en suelo; para cultivos hidropónicos se requieren de 450-800 mL de solución al día aproximadamente, dato que puede variar según el sustrato que se utilice (Morgan, 2002).

2.6. Viveros de producción comercial de planta de fresa en México

En México, la tecnología para sembrar viveros de fresa ha registrado muy pocos cambios desde 1950, año en que se implementó comercialmente en la zona de Irapuato. El proceso de importación y reproducción de planta se repite cíclicamente dada la necesidad de renovar la plantación comercial cada año. Lo anterior debido a la insuficiencia de unidades frío y el ataque de enfermedades (Castro y Dávalos, 1990).

Entre los 10 principales países productores de fresa, Estados Unidos, Japón, Corea y Rusia son autosuficientes en la producción de planta; México, depende casi totalmente de las variedades de Estados Unidos para renovar el proceso de propagación en los viveros, importando material vegetal con categorías Fundación, Registrada y Certificada.

Las regiones de Zamora, Jaconá, Tangancícuaro, Baja California, Jalisco, Estado de México y Guanajuato, son productores de planta verde (fresca) en crecimiento, denominada así, la planta de fresa que después de ser cosechada del vivero es trasplantada al campo para la producción de fruta, sin refrigerar, o con algunas excepciones, por un periodo de 10 a 20 días de refrigeración artificial. Este tipo de planta es la que se utiliza en el 100 % de las plantaciones comerciales de fresa en el país bajo el sistema "directa verde". La planta verde es utilizada en sistemas de plantación cuyo principal objetivo es producir fruta en otoño e invierno, donde prevalece un clima benigno.

Otro tipo de planta que se produce en el país, es planta refrigerada (frigo), la cual es propagada en ambientes frescos en la zona centro-norte de México arriba del paralelo 22°, a altitudes de 2000 m, principalmente en el estado de Zacatecas, y en menor proporción en los estados de Durango y Chihuahua. La planta recibe un periodo de refrigeración artificial de 45 a 60 días o más (con la finalidad de inducir la propagación vegetativa en el vivero). El propósito de este tipo de planta es abatir el costo del material vegetativo de fresa importado de California, el cual llega a ser tres a cinco veces más alto que la planta nacional (INIFAP, 2011).

El establecimiento de un vivero ya sea para la producción de planta frigo o bien, para planta verde, necesita considerar ciertos factores (Cuadro 2), que pueden ser determinantes para la propagación de la planta (Dávalos, 1982).

Cuadro 2. Manejo de los viveros para la propagación de planta de fresa en México y en el estado de California (Dávalos, 1982).

Factor	México	
	Planta frigo	Planta verde
Textura de suelo	Arenoso	Francos, arcillosos
Desinfección del suelo	No	No
Aislamiento geográfico	Sí	Casi siempre
Altura sobre el nivel del mar (m)	2000	1725
Latitud norte	22°	20°
Tipo de planta madre	Registrada	Certificada
Fuente de planta libre de virus	Importada	Importada
Época de plantación	Mar-abr	Ene.-feb.
Plantas por hectárea	20,000	15,000
Sistema de riego	Superficial	Superficial
Control de malezas	Mecánico, manual	Mecánico, manual
MI de plagas y enfermedades	No	No
Época de cosecha	Oct.-nov.	Ago.-nov.
Periodo de propagación (meses)	6-8	6-10
Unidades frío 7 °C, sep.-oct.	<150	0 < 50
Uso de la planta	Viveros, producción de fruta	Producción de fruta
Cosecha de la planta	Manual	Manual
Rendimiento, plantas ha ⁻¹	>1 millón	700 mil a 1 millón
Perfil del viverista	Productor de fresa	Productor de fresa

Las principales variedades que se utilizan para la obtención de estos dos tipos de plantas (planta frigo y planta verde) son: 'Festival', es de fotoperiodo corto y es productora en invierno; 'Camino Real', de fotoperiodo corto con fruta grande y altamente tolerante a daño por lluvia; 'Albión', planta de fotoperiodo neutro, con tolerancia a la mayoría de patógenos del suelo; y, 'San Andreas', variedad de fotoperiodo neutro, con resistencia a la mayoría de enfermedades que afectan la calidad de planta y frutos de fresa (CONAFRE, 2012).

2.7. Requerimientos nutrimentales

La producción óptima de fresa requiere un favorable ambiente para el crecimiento de la raíz con alta disponibilidad de nutrientes esenciales. El pH del suelo es un factor clave en el mantenimiento del entorno favorable de la raíz, pues también influye en la disponibilidad de los nutrientes. Algunos de los elementos esenciales necesarios para el crecimiento de la planta son los macronutrientes, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S); y, los micronutrientes hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B) y molibdeno (Mo). Los elementos mayores principales son requeridos en mayor cantidad, seguido por los elementos mayores secundarios, en tanto, que los elementos menores (micronutrientes) se requieren en bajas cantidades (Campbell, 1998).

El nitrógeno, el fósforo y el potasio son especialmente importantes para un óptimo rendimiento y calidad de la fresa. Los elementos mayores secundarios juegan un papel importante en la fotosíntesis, el desarrollo de la pared celular y en la producción de proteínas. Los elementos menores son requeridos en cantidades muy bajas, pero son esenciales para el crecimiento y desarrollo normales; suelen funcionar como catalizadores para las reacciones químicas en la planta. El exceso de micronutrientes puede ser tóxico para la planta; sin embargo, existen grandes diferencias en el comportamiento nutricional en cada variedad, además que el ambiente (clima), juega un papel primordial en la expresión de los síntomas (Hancock, 1999).

Nitrógeno

La planta de fresa incrementa muy poco la absorción de nitrógeno a dosis mayores de 168 kg ha^{-1} , e inclusive la asimilación de fósforo y potasio, nutrimentos relacionados con la calidad de fruto que se ven afectados si se incrementa la fertilización nitrogenada (Monroy *et al.*, 2001); Muramoto *et al.*, (2005) midió la tasa de absorción y pérdida del nitrógeno en suelo de un cultivo de fresa orgánica, demostrando que se requiere alrededor de 120 kg.ha^{-1} de nitrógeno en un ciclo de cultivo de siete meses. Si la plantación es a cielo abierto, se recomienda aplicar la mitad de la dosis antes del trasplante; el resto debe fraccionarse al menos en cuatro partes cuando se riega por surcos; cuando se utiliza riego por goteo el nitrógeno se fracciona en cada riego (Dávalos *et al.*, 2005a, 2015b).

Un aspecto importante a considerar en la fertilización nitrogenada, es la relación amonio-nitrato, según un experimento conducido por Tabatabaei *et al.* (2006), donde se probaron soluciones nutritivas con diferentes relaciones amonio-nitrato, en los cultivares Camarosa y Selva, encontraron que el área foliar y la materia seca de ambos cultivares disminuye cuando se incrementa la tasa de amonio, sin embargo, cuando el amonio es excluido por completo de la solución nutritiva, disminuye el crecimiento de la planta; a la par encontró que el número de flores y frutos no se ve afectado por la relación amonio-nitrato, en tanto que, el rendimiento en términos de peso fresco de fruto por planta se incrementó significativamente en la relación $25(\text{NH}_4) : 75(\text{NO}_3)$, en ambos cultivares; lo anterior, como resultado del incremento del tamaño, longitud y peso fresco de los frutos. Ajustar la relación amonionitrato en la solución nutritiva es la principal herramienta para balancear la tasa de absorción de aniones y cationes, además de mantener el pH en el intervalo deseado; la planta está sujeta a diferentes intensidades de luz según la estación del año, esta condición puede alterar la forma en que la planta absorbe el N, por tanto el ajuste de la relación amonio-nitrato en la solución nutritiva es crucial.

Según varios autores, desde el siglo pasado, indicaron que la firmeza del fruto de fresa puede reducirse y su tamaño se incrementa debido a una excesiva fertilización nitrogenada (Schoemaker y Greve, 1930; Overholser y Claypool, 1932; Miner *et al.*, 1997; Neuweiler, 1997). Otros autores, más recientemente, han encontrado que el exceso de una fertilización nitrogenada puede inducir la malformación de frutos, además de reducción o nula influencia en el tamaño de fruto (Kongsrud, 1998; Yoshida *et al.*, 1991; Gariglio *et al.*, 2000; Kopanski y Kaweci, 1994).

La poca disponibilidad del nitrógeno afecta el crecimiento y desarrollo de la planta, la cual se debilita, sus hojas permanecen pequeñas, adquieren una notable rigidez y toman un color verde amarillento, el pecíolo se acorta y las nervaduras son más pronunciadas y el desarrollo de las partes suculentas se retrasa. En los casos de grave deficiencia, las hojas toman una coloración anaranjada, púrpura o violácea en los bordes y la floración es muy escasa. Debido a que el elemento es móvil en las plantas, la deficiencia se observa primero en las hojas más viejas y de ahí hacia las hojas más jóvenes (Díaz, 2016).

Fósforo

Es un nutriente importante para el desarrollo de las raíces y se caracteriza por su poca solubilidad; por lo tanto, para los cultivos, es poco móvil y no tiene una vía natural de reposición, lo que aumenta la importancia de la fertilización con dicho elemento. El fósforo es necesario para el almacenamiento y transferencia de energía en la planta, es fundamental para el crecimiento temprano de raíces y parte aérea. La fertilización con fósforo es clave, no sólo para restituir los niveles de este nutriente en el suelo, sino también para obtener plantas más vigorosas, con un sistema radical con mayor crecimiento y mejor distribuido y, por lo tanto, más resistentes a la falta de agua (Cooke, 1959).

Todo esto se traduce en el aumento del rendimiento, pues el fósforo interviene en procesos bioquímicos tales como: Biogénesis de los glucósidos, biosíntesis de los lípidos, síntesis de clorofilas y compuestos carotenoides, en la glucólisis y el metabolismo de los ácidos orgánicos (Ensminger, 1950). Cuando hay falta de

fósforo, la cosecha puede reducirse 50 % y el contenido de vitamina disminuye (Cooke, 1959).

Mahler y Barney (2000) mencionan que el P es importante al establecer las plantas de fresa. Cuando el análisis del suelo muestra valores menores a 3.0 mg kg⁻¹, en los primeros 0.3 m de profundidad, se debe agregar 111.94 kg ha⁻¹ de P, antes del trasplante. En plantaciones ya establecidas, la planta de fresa responde a la fertilización fosfatada, cuando los niveles de P son bajos en el suelo.

En plantas de fresa con deficiencia de P, las flores y frutos tienden a ser más pequeños de lo normal y, los frutos de variedades susceptibles pueden desarrollar ocasionalmente albinismo (Ulrich *et al.*, 1980).

Potasio

El potasio está implicado en la acumulación de hidratos de carbono y grasas en los frutos, así como en los procesos de transpiración, en el movimiento de agua en la planta y en la regulación de la apertura y cierre de estomas. La mayor demanda de potasio se produce a medida que se desarrollan los frutos, mismos que acumulan grandes cantidades de este elemento durante el periodo de crecimiento, ocasionando deficiencias temporales, incluso en suelos relativamente bien provistos de este nutriente. El potasio interviene en procesos bioquímicos como: la fotosíntesis, economía hídrica, activación enzimática, síntesis de glúcidos y metabolismo del nitrógeno (PPI/PPIC/FAR, 2002).

La deficiencia potásica origina una notable reducción de los órganos de reserva, falta de resistencia a enfermedades; una prolongación del periodo vegetativo y retraso de la maduración, frutos notablemente ácidos sin aroma y con fuerte coloración, menor resistencia al frío, tendencia al marchitamiento, retraso en el crecimiento radical y descenso general de los rendimientos (McLean y Watson, 1985).

Nestby *et al.* (2005) muestran que la deficiencia de potasio en la fresa puede causar muerte del cáliz, así como, marchitamiento del pedicelo y pedúnculos; la aplicación de potasio no tiene efecto en la firmeza de, pH, ni en la concentración

de sólidos solubles del fruto. En un sistema hidropónico cerrado, una absorción excesiva de potasio reduce la calidad del fruto por bajo contenido de azúcares, en plantas con deficiencia de potasio, existen fallas al colorear el fruto, además toma textura pulposa y es insípido.

Calcio

Las plantas de fresa con deficiencia de calcio se deforman, no maduran y se mantienen pequeñas (Lineberry y Burhart, 1943). La resistencia del fruto a la punción, el contenido de calcio y de ácido ascórbico de frutos de plantas fertilizadas con calcio fueron más altos a comparación con frutos provenientes de plantas no fertilizadas (Jeong *et al.*, 2001). Raynal y Carmentran (2001) encontraron que una alta fertilización con calcio disminuyó la acidez del fruto; además juega un papel importante en la pérdida de calidad visual del fruto después de su cosecha. Es importante mencionar que el calcio suplementario restaura los efectos dañinos de una alta salinidad (Kaya *et al.*, 2002).

Para tener una buena respuesta a fertilizantes en la fresa, se deben cuidar algunos aspectos tales como: Variedades adaptadas a las condiciones climáticas de la zona de siembra; plantas libres de enfermedades; selección del suelo donde se cultiva; control de malezas y eficiente sistema de riego; todo esto, para obtener una eficiente respuesta a la aplicación de fertilizantes. La fresa responde a altas concentraciones de materia orgánica en el suelo, mediante la incorporación de abonos verdes o compostas antes de iniciar la plantación. La dosis de fertilización debe basarse en un análisis de suelo y agua previos a la siembra (Hart *et al.*, 2000).

Magnesio

Según Alcántar y Trejo (2007), la función más importante del magnesio, es ser elemento constitutivo de la clorofila; también es componente constitutivo de los ribosomas, ya que mantiene la agregación de las subunidades de éstos.

Experimentos conducidos por Lamarre y Lareau (1997), mostraron que aplicaciones de magnesio en fresa incrementa el tamaño de fruto. Según Ulrich *et*

al. (1980), los frutos de plantas con deficiencia de magnesio aparentemente son normales, excepto porque se presenta un color rojo claro y tendencia al albinismo. Cuando el análisis del suelo (Mg-soluble), presenta valores menores a 0.5 meq 100 g suelo⁻¹, indica la necesidad de aplicar fertilizantes (Mahler y Barney, 2000).

Boro

El boro es absorbido por la planta sin importar cómo esté disponible, ya sea en forma de B₄O₇⁻², BO₃⁻³, BO₃H⁻² o BO₃H²⁻. La absorción sucede a través del sistema radical o por vía foliar, y puede ser bloqueada en suelos secos o pH alto. El boro es esencial para la síntesis de los elementos de la pared celular, en la circulación de los azúcares dentro de la planta, participa también en la síntesis del almidón (Díaz-Espino, 2016).

El requerimiento de boro varía considerablemente entre las especies de fresas, siendo común que, una concentración que es correcta para una especie sea tóxica para otras, la concentración promedio en el tejido vegetal es de alrededor de 20 mg kg⁻¹, pero puede variar según la especie de 1 a 100 mg kg⁻¹. Varios investigadores coinciden en la influencia de este elemento sobre la germinación del polen y amarre del fruto (Willis, 1945; Visser, 1955; Johanson, 1963; Vasil, 1964; Shkolnik, 1974; Guttridge y Turnbull, 1975).

Los síntomas de deficiencia (contenidos menores a 25 ppm) son, disminución de crecimiento, de superficie foliar, de concentración de la clorofila y, por lo tanto, del tamaño de la flor, con lo que se tiene una polinización deficiente, resultando en frutos pequeños y deformes; en ocasiones los síntomas son similares a los causados por daños de chinches y trips (Ulrich *et al.*, 1980).

Hierro

Es una deficiencia frecuentemente observada en suelos someros, de menos de un metro de profundidad y donde el estrato inferior está formado por suelo rico en compuestos de calcio (Castellanos-Ramos *et al.*, 2000).

Una característica importante del hierro que determina sus numerosas funciones fisiológicas, es la capacidad para cambiar de valencia y formar complejos quelatados. Como moléculas transportadoras de este elemento han sido identificadas a los ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y flavinas. Entre el 80 y

el 90% del hierro se encuentra fuertemente unido a estructuras orgánicas. Una deficiencia de hierro en la planta, origina que disminuya la concentración de clorofila, además de carotenos y xantofilas, mismas que afectan la actividad de los transportadores de electrones en los fotosistemas (Alcántar y Trejo, 2007).

Los síntomas de deficiencia en la fresa pueden presentarse desde los primeros meses del trasplante o bien cuando inicia la época calurosa (Díaz-Espino y Dávalos-González, 2017). Las plantas afectadas por la deficiencia de hierro presentan hojas jóvenes con un amarillamiento intervenal, donde sólo las venas presentan el color verde y el resto de lámina foliar, es amarillo. A mayor deficiencia de hierro la clorosis es más intensa, lo que provoca un retraso en el crecimiento de la planta y su muerte, en caso de problemas agudos; los frutos son de menor tamaño y de fuerte coloración (Lieten, 2000).

La corrección del problema suele ser difícil ya que la deficiencia generalmente es el resultado de la interacción de diferentes compuestos como el exceso de calcio en el suelo y en el agua, pH alcalino y falta de aireación del suelo, lo que dificulta la asimilación de hierro por la fresa (Díaz-Espino, 2016).

2.8. Propagación en planta de fresa

La propagación en planta de fresa es crucial para obtener altos rendimientos al momento de la producción; sin embargo, existen múltiples factores que reducen o limitan la obtención de plantas de calidad; la genética y el ambiente influyen en el crecimiento de las plantas y en la productividad y calidad del fruto (Himelrick y Galletta, 1990); asimismo, la disponibilidad de agua, las temperaturas nocturnas y diurnas, y la intensidad de la luz del día, están relacionadas con el tamaño del fruto (Avigdori-Avidov, 1986). Las variedades y especies de fresa están relacionadas con las necesidades de temperatura y el fotoperiodo al que responden (Galletta y Bringhurst, 1990). Las altas temperaturas, en condiciones de vivero, afectan la calidad de las plantas hijas (Guttridge y Anderson, 1975), y en la producción afectan el rendimiento y el tamaño del fruto (Chercuitte *et al.*, 1991; Lieten *et al.*, 1995). Otro aspecto a tomarse en cuenta es la altitud, que afecta el tamaño de la corona de las plantas y el número de coronas (Maroto *et al.*, 1997).

Todos estos aspectos deben considerarse para la obtención de una planta con calidad, que presente características deseables como raíces abundantes, coronas múltiples, yemas diferenciadas y alto contenido de carbohidratos. Estas características permiten a la planta establecerse rápidamente en el terreno de cultivo, y con ello obtener una producción precoz y de alto rendimiento (Stapleton *et al.*, 2001).

Debido a que la fresa es un híbrido, no se recomienda reproducir sexualmente. Su reproducción se hace vegetativamente o asexualmente destacando comercialmente tres formas: Por estolones, que es la más común, por división de la corona y por micropropagación o *in vitro* (Angulo, 2009).

Estolones

Es la forma más usada para propagar la fresa. Por lo general, cuando se importan, los estolones se utilizan como plantas madres. Los estolones nacidos de las plantas madres dan origen a las plantas que se van a trasplantar en el cultivo comercial. Pero cuando se reproducen localmente, se seleccionan plantas madre, de las plantas que están en producción, y de ahí se obtienen los estolones; por lo mismo, la selección de las plantas debe ser cuidadosa, se prefieren plantas fuertes, sanas y productivas. Los estolones primarios escogidos se colocan hacia el mismo lado para facilitar las diferentes labores de cultivo. Cada planta madre puede producir de 40 a 50 estolones (Angulo, 2009).

División de la corona

Este método es utilizado en las variedades que producen pocos estolones. En este sistema es aconsejable utilizar sólo plantas jóvenes menores de un año, que tengan la corona bien desarrollada, incentivándose la formación de raíces en las coronas secundarias mediante el aumento del fertirriego incrementando el nitrógeno y el fósforo (Angulo, 2009).

Micropropagación

Si se desea tener abundante material, libre de enfermedades y en forma rápida se aconseja la micropropagación, por medio de la cual se pueden utilizar todos los tejidos de la planta, especialmente las partes terminales o ápices meristemáticos de los estolones o de la corona (Angulo, 2009).

2.9. Producción de estolones

El primer paso en la producción de las plantas de fresa en forma vegetativa, es la producción de las puntas de los estolones. Su producción es a partir de la planta madre, la cual puede ser cultivada en un invernadero o al aire libre. Se puede cultivar las plantas en el suelo o en bolsas llenas de turba que se ponen sobre el suelo o bancos.

La producción de estolones es favorecida por las temperaturas altas (más de $75^{\circ}\text{F}=23.8^{\circ}\text{C}$) y los fotoperiodos largos (cerca de 16 horas), por lo tanto la producción al aire libre sería limitado al verano. Con cualquiera de los dos sistemas, aire libre o invernadero, se debe de tomar cuidado para evitar que los estolones entren en contacto con el suelo, que, sería el caso, si la producción es por cepellón; sin embargo, si se pretende obtener plantas a raíz desnuda, el contacto con el suelo es inevitable, pero se tiene que tener la precaución de estar dirigiendo la planta y a la vez enterrando el estolón para que comience más rápido con la formación de su sistema radical (Louws, 2004).

En un sistema protegido, por ejemplo invernadero, se puede esperar los primeros estolones 8 a 10 semanas después de establecer la planta madre (Durner *et al.*, 2002). El número de estolones por planta aumentará a través del tiempo, en el proceso de crecimiento de la planta madre. Sin embargo, el número de estolones producido por planta madre y el tiempo entre el establecimiento y la producción, pueden variar de acuerdo con la variedad. En algunas ocasiones es recomendable establecer la planta madre dos o tres meses antes de la producción de estolones para dar tiempo al establecimiento de la misma (Hokanson *et al.*, 2004).

Durante esta etapa, las plantas se deben regar frecuentemente para evitar el marchitamiento de los puntos de crecimiento. Las aplicaciones de fertilizantes también deben ser constantes, y, principalmente, con altos contenidos de nitrógeno, para favorecer el crecimiento vegetativo (estolones); para la producción de estolones al aire libre y en los invernaderos, lo más recomendado es realizar la aplicación de los fertilizantes vía fertirriego. Se ha demostrado que funciona bastante bien una mezcla soluble en agua de 20-10-20, y esto debe ser inyectado

en una concentración de 100 ppm de N en cada riego. Como parte del manejo en esta etapa es recomendable quitar continuamente los racimos florales para promover sólo el crecimiento vegetativo y la formación de los estolones (Tekeda y Newell, 2006).

Cosecha de estolones

La cosecha de estolones se realiza sólo cuando el método de trasplante sea por cepellón; según Durner *et al.* (2002), los estolones se deben cosechar cuando presenten raíces iniciales (blancas o marrones), las cuales no deben ser más grandes de ½ pulgada, además de presentar hojas trifoliadas, de aproximadamente, 2 ½ a 4 pulgadas. Los estolones se deben quitar, de tal manera, que no se dañen las hojas trifoliadas y mantener ½ pulgada del estolón, con la finalidad de que funcione como ancla al ser colocadas en las charolas.

En las producciones comerciales los estolones suelen ser enfriados a 32°F (0°C) en un lapso de 45 minutos antes de ser plantados, o en el caso de ser almacenados, debe ser a una temperatura de 32-34°F (0-1.1°C) con una humedad relativa de 95%, por no más de una semana (Durner *et al.*, 2002).

2.10. Trasplante de plantas de fresa

El trasplante es una práctica cultural común utilizada para mejorar el establecimiento del cultivo, acortar el ciclo de campo, mejorar la precocidad y aumentar el rendimiento y calidad del cultivo. Después del trasplante, estreses bióticos y abióticos que actúan de manera independiente o combinada pueden limitar el crecimiento y establecimiento de las plantas (Leskovar-Stiffella, 1995). En el cultivo de la fresa esta práctica puede considerarse aún como artesanal, pues a excepción de mecanización de la labranza primaria, el resto de las labores se realizan a mano (Gutiérrez *et al.*, 2009). Aunque se intentó en la década de los 80's, el trasplante mecanizado para este cultivo no se completó, debido a que se observaron desórdenes fenológicos y fenotípicos en el fruto. Reales o imaginarios estos efectos, se generó en ese tiempo mala reputación de estos métodos que obligaron a los centros de investigación de algunos países, como España e Italia, a abandonar esta tecnología y buscar alternativas más eficientes.

Actualmente existen diversos tipos de presentación de las plantas para trasplante: A raíz desnuda que es la más común, en cepellón o en papel biodegradable, este último de mayor difusión en países orientales. Bélgica fue pionero en trabajar con cepellones seleccionados de los estolones de plantas madre y después colocados en bandejas, para posteriormente trasplantarlos en el campo de producción (Gutiérrez *et al.*, 2009).

Las plantas a raíz desnuda son obtenidas de suelos naturales y a campo abierto de donde son removidas para ser trasplantadas al sitio deseado; puede decirse, que este es el método más fácil y económico para obtener plantas, pero puede ser el menos eficiente, debido a que la calidad de las plantas dependerá de las condiciones en las que se encuentren; principalmente agua, nutrición y tipo de suelo, factores que determinaran el buen desarrollo del sistema radical y el nivel de reservas de las nuevas plantas (Landis *et al.*, 2004; Quiroz *et al.*, 2009).

Es por dicha razón, que las plantas de fresa a cepellón están reemplazando rápidamente las plantas de raíz desnuda en muchas partes del mundo, debido a que el material de plantas cultivadas en charolas, suele ofrecer una mejor oportunidad para controlar factores críticos de producción, que influyen en la salud del establecimiento del trasplante, rendimiento temprano, rendimiento total y tamaño del fruto, así como, sus características (Durner *et al.*, 2002).

Las plantas de cepellón se cultivan a partir de tallos megablásticos no enraizados llamados estolones. Los estolones son enraizados directamente en bandejas, que normalmente contienen sustratos inertes o con características particulares (Poling y Parker, 1990). Casi el 100% de los trasplantes de cepellón sobreviven a la siembra.

Las plantas hojas con cepellón presenta pelos radicales, que absorben rápidamente agua y nutrientes. Este activo sistema radical permite una mayor uniformidad y crecimiento de las plantas después del trasplante. Debido a este crecimiento inicial más rápido, las fechas de trasplante de cepellón pueden retrasarse (Pritts y Handley, 1998), hasta 5 días después de la fecha óptima de siembra para plantas de raíz desnuda (Poling Y Parker, 1990).

2.11. Fertilización orgánica en el cultivo de fresa

Uno de los principios básicos de la agricultura orgánica es ser un sistema orientado a fomentar y mejorar la salud del agro-ecosistema, la biodiversidad y los ciclos biológicos del suelo. Para esto, se hace necesario implementar actividades que nos conduzcan a estos fines, que conlleven la restitución de elementos minerales y vivos (microorganismos, bacterias benéficas y hongos), y, además, mantener la vitalidad del suelo donde se desarrollan las plantas (Tellez y Salmeron, 2007).

La fertilización orgánica, se plantea como opción viable para suministrar nutrimentos al cultivo de fresa, con el fin de disminuir la dependencia de los fertilizantes químicos y disminuir los costos de producción (Murray *et al.*, 2011).

2.11.1 Uso de hongos micorrizicos (HMA)

En la agricultura, el uso de los hongos micorrizicos arbusculares (HMA), tiene un gran potencial biotecnológico debido a que facilitan la absorción de nutrientes para las plantas. Por lo tanto, plantas micorrizadas poseen una ventaja importante, con respecto a las plantas no micorrizadas (Da Silva y Cardoso, 2007). La repuesta de la planta a la colonización con respecto a la absorción de nutrientes y al crecimiento de la misma, ha sido demostrada en diferentes cultivos, en el caso de diversos cultivares de fresa, micorrizados con diferentes hongos, se ha comprobado un aumento en el crecimiento de las plantas y en la calidad de los frutos (Varma y Schuepp, 1994).

De la misma manera, se ha demostrado que el uso de HMA incrementa °Brix en los frutos debido al transporte de fotoasimilados (Campos-Motá *et al.*, 2004). Igualmente, Subramanian *et al.* (2006) señalaron, que en plantas de tomate micorrizadas encontraron mayor concentración de ácido ascórbico y de sólidos solubles totales (SST) en frutos, incluso en substratos con diferentes niveles de salinidad.

La importancia de los HMA en la agricultura radica en su extenso micelio extra radical, que forma un vínculo entre la planta y el suelo debido a que la asociación planta-hongo, las plantas presentan ventajas en cuanto a la absorción de nutrientes de poca movilidad (como el P) con respecto a las plantas no

micorrizadas, ya que en las primeras el micelio externo se extiende a una mayor distancia en el suelo, que aquellas que observan los pelos radicales de las plantas no micorrizadas (Blancof y Salas, 1997).

Efecto de HMA en la planta

Los hongos micorrízicos representan un vínculo clave entre las plantas y nutrientes minerales del suelo. Los HMA son simbiontes obligados, que pertenecen a la phylum Glomeromycota (Schüßler *et al.*, 2001), forman simbiosis mutualistas con aproximadamente 80% de las especies de plantas terrestres, incluyendo varios cultivos agrícolas. Las hifas de los hongos colonizan exclusivamente la corteza de la raíz y forman estructuras altamente ramificadas dentro de las células, denominadas, arbusculos, que se consideran el sitio funcional de intercambio de nutrientes (Balestrini *et al.*, 2015). Por lo tanto, los HMA pueden aliviar la limitación en el crecimiento de las plantas causada por un suministro inadecuado de nutrientes (Nouri *et al.*, 2014). Además de un suministro nutricional mejorado, los HMA proporcionan otros beneficios a las plantas, como la tolerancia a la sequía y a la salinidad (Augé, 2004; Porcel *et al.*, 2011; Augé *et al.*, 2015) y resistencia a enfermedades (Pozo y Azcón-Aguilar, 2007). Según varios autores, los hongos micorrízicos arbusculares son conocidos por aliviar la toxicidad de metales pesados en las plantas huésped y por tolerar altas concentraciones de metal en el suelo (Göhre and Paszkowski, 2006; Lingua *et al.*, 2008; Cornejo *et al.*, 2013; Tamayo *et al.*, 2014; Meier *et al.*, 2015).

Los HMA proporcionan a la planta huésped nutrientes minerales y agua, a cambio de productos fotosintéticos (Smith y Read, 2008). El micelio de HMA que surge del sistema radical, puede adquirir los nutrientes de volúmenes de suelos que son inaccesibles a las raíces (Smith *et al.*, 2000). Además, las hifas fúngicas son mucho más delgadas que las raíces y, por lo tanto, son capaces de penetrar en los espacios más pequeños del suelo (Allen, 2011). Los carbohidratos y nutrientes minerales son entonces intercambiados dentro de las raíces a través de la interfaz entre la planta y el hongo.

Calidad generada en planta y fruto con el uso de HMA

La respuesta de la planta a la colonización de hongos micorrizicos con respecto a la absorción de nutrientes y al crecimiento de la misma planta, ha sido mostrada en diferentes investigaciones, así como en diferentes cultivos. En el cultivo de pimiento, se produjeron plantas más desarrolladas, con mayor número de hojas, tallos y producción (Aguilera-Gómez *et al.*, 1999; Brown *et al.*, 2000), en tomate se consiguió un aumento del crecimiento vegetal y de la absorción de agua en condiciones de estrés hídrico (Dell'Amico *et al.*, 2002); para el cultivo de lechuga se ha constatado mejor tolerancia al estrés hídrico de las plantas micorrizadas frente a las no micorrizadas (Ruiz-Lozano *et al.*, 2000); en diversos cultivares de fresa, micorrizados con diferentes hongos, se ha comprobado también un aumento en el crecimiento de las plantas (Chávez y Ferrera, 1990; Williams *et al.*, 1992; Niemi y Vestberg, 1992; Varma y Schuepp, 1994), así como calidad del fruto, como es el mejoramiento de la textura (firmeza), el aumento en la concentración de fenoles totales, influencia en el llenado del fruto y en la distribución de fotosintatos (Rivera, *et al.*, 2012).

La eficiencia de esta simbiosis se ha demostrado que está muy influida por el tipo de huésped y los requerimientos nutricionales. De la misma manera, Campos-Motá *et al.*, (2004), en cultivos de frambuesa roja, constataron que la presencia de micorrizas arbusculares puede incrementar el número total de frutos por planta, siempre y cuando, la disponibilidad de nutrientes pueda abastecer la mayor demanda del cultivo durante la floración. Igualmente, destacaron el incremento de °Brix en los frutos, debido al transporte de fotoasimilados a los frutos.

2.11.2. Uso de estiércol en cultivos

Los estiércoles se han utilizado desde hace mucho tiempo para aumentar la fertilidad y modificar las características de los suelos; el contenido nutrimental de los mismos es muy variable y depende del origen, edad del animal, tipo de alimentación y manejo a que ha sido sometido desde su recolección.

De los diferentes tipos de estiércoles, la gallinaza y la porqueraza son los más ricos desde el punto nutricional y de mayor liberación de nutrientes en el primer año, mientras que los estiércoles más pobres son el de vacuno y el equino (Romero, 1997). El estiércol de bovino, tiende a ser más alcalino que la gallinaza. En la gallinaza el contenido de fósforo es de tres a cinco veces mayor que el de bovino, también contiene mayor cantidad de calcio, zinc y magnesio (Castellanos, 1982).

Eghball *et al.* (2004) mencionan que los efectos residuales del estiércol fresco o compostado pueden durar por varios años como es el caso del fósforo del suelo, el cual puede ser absorbido hasta cuatro años después de la aplicación de estiércol.

Guerra (2008), presentó resultados favorables del uso de estiércol en cultivo de fresa demostrando la efectividad que se tiene en función a los kilogramos de fruta fresca por planta que se obtienen, así como una mayor vida de anaquel y aroma de la fruta.

En general, agregar estiércol con un proceso de compostaje adecuado y de manera continua al suelo, garantiza una mejor absorción de los nutrientes agregados y esto se puede traducir en un mejor rendimiento de fruta fresca por planta (Guerra, 2008).

2.11.3. Uso de algas marinas en la agricultura

Conforme a lo reportado por Blaine *et al.*, (1990) y Crouch y Van Staden (1992), el incremento en los rendimientos y la buena calidad de los frutos como efecto del uso de las algas marinas o sus derivados en la agricultura, se debe a que las algas marinas contienen todos los elementos mayores, todos los elementos menores y todos los elementos traza presentes en las plantas; además de 27 sustancias naturales reportadas hasta ahora, cuyos efectos son similares a los de los reguladores de crecimiento de las plantas, tales como, vitaminas,

carbohidratos, proteínas, sustancias biosidas que actúan contra algunas plagas y enfermedades, y agentes quelatantes como ácidos orgánicos y manitol.

Cuando el proceso para la elaboración de los derivados de algas marinas es el correcto, los microorganismos que con ellas viven asociados, permanecen en estado viable y se propagan donde se aplican, incrementando las cantidades de los elementos y de las sustancias que contienen, potenciando su acción. Esta es la razón del porqué, al usar algas marinas o sus derivados en la agricultura, se aporta un complejo enzimático extra, diverso y cuantioso, que efectúa cambios en las plantas y en el suelo, y que sin ellos, no toman lugar.

Fox y Cameron (1961) y López *et al.* (1994), reportan la acción de las enzimas como fuente de vida. Es de considerarse que al aplicar foliarmente extractos de algas marinas por ejemplo, las enzimas que éstas conllevan, refuerzan el sistema inmunitario de las plantas (más defensa), y a su sistema alimenticio (más de 8 nutrimentos) y activan sus funciones fisiológicas (más vigor), dando como resultado plantas más sanas con mejor nutrición y más vigorosas. Además, Aitken y Senn (1965), Blaine *et al.* (1990) y Blunden (1973) mencionan que los derivados de algas mejoran el suelo, así como el incremento en la materia orgánica (Nicolás y Nahum, 1995).

2.11.4. Uso de compost en la agricultura

El compost es el resultado de un proceso de compostaje biológico, donde ocurre una descomposición de compuestos orgánicos hasta la formación de un producto estable y rico en sustancias húmicas (Mustin, 1987). Para llevar a cabo este proceso, es necesario contar con las condiciones correctas, tales como buena oxigenación, así como una humedad constante, con el fin de aportar las condiciones óptimas, para que los microorganismos inicien su actividad.

El proceso de descomposición de la materia orgánica se puede llevar a cabo mediante dos vías: La primera sucede por microorganismos del suelo (bacterias, hongo, etc.), los cuales al tener las condiciones adecuadas inician con su actividad, la cual provoca un aumento de la temperatura y con ello el paso a la degradación de la materia; la segunda, sucede con organismo incorporados, como lombrices, que mediante el proceso digestivo degradan los desechos

orgánicos, dando como resultado compuestos más estables tales como: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas (Siles, 1998; Bollo, 1999) .

Este último ha presentado grandes ventajas, dada la capacidad detritívora de las lombrices para degradar una amplia variedad de residuos orgánicos; al mismo tiempo, eliminan microorganismos patógenos y favorecen la macrofauna y microflora natural de los suelos, tanto que se han utilizado para generar compuestos de importancia tales como: enzimas, antibióticos, vitaminas, hormonas y sustancias húmicas. (Capistrán, *et al.*, 2001; Atiyeh, *et al.*, 2002) Domínguez *et al.*, (2004). Al producto de este proceso donde se utilizan este tipo de organismos se le denominó, vermicompost.

El vermicompost al ser utilizado como sustrato, permite satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos hortícolas, y a la par, reduce significativamente el uso de fertilizantes sintéticos (Hashemimajd, 2004; Scheurell y Mahaffee, 2004); contiene sustancias activas que actúan como reguladoras de crecimiento, posee gran capacidad de intercambio de cationes (CIC), así como un alto contenido de ácidos húmicos, además de gran capacidad de retención de humedad, porosidad elevada que facilita la aireación y drenaje del suelo y de los medios de crecimiento (Orozco *et al.*, 1996; Ndegwa *et al.* , 2000; Castillo *et al.*, 2000). Contreras *et al.* (2005), sugieren el uso de vermicompost como un aporte importante de carbono orgánico humificado, que contribuye al restablecimiento de la materia orgánica nativa del suelo y causa mejoras en la calidad física del mismo, además de la lenta liberación de los nutrientes contenidos en él.

Otro producto también derivado del vermicompost es el lixiviado, que puede utilizarse como abono debido a que contiene nutrimentos solubles y microorganismos benéficos (Ingham, 2005). Esta solución puede ser aplicada a través de sistemas de riego presurizado, por lo que su uso puede adaptarse en sistemas de producción orgánica de cultivos bajo condiciones de fertirriego (Rodríguez *et al.*, 2007). También se ha utilizado para prevenir enfermedades, tanto en aspersion foliar (Ingham, 2005) como aplicado al sustrato (Serrato y Landeros, 2001).

2.11.5. Uso de extractos vegetales para el control de plagas y enfermedades

Desde tiempos ancestrales se ha comprobado que las plantas y sus derivados muestran actividad contra plagas y enfermedades, como son ácaros, roedores, nematodos, bacterias, virus, hongos e insectos, (Grainge y Ahmed 1988); por lo tanto, los extractos vegetales son una alternativa para el control de estas en las plantas, contribuyendo con ello a un manejo integrado de los cultivos, debido a su bajo costo y el menor impacto sobre el ambiente y los alimentos (Guevara *et al.*, 2000, Maselli *et al.*, 2006).

La producción de sustancias bioactivas o metabolitos secundarios por las plantas ocurre a través de diferentes vías metabólicas, generando gran número de compuestos, muchos de los cuales sólo son detectados en un determinado grupo de plantas y en concentraciones variables. La cantidad y composición de esta clase de compuestos es muy variable y depende del tipo de tejido, edad de la planta, su hábitat y el tipo de suelo (Cruz De Matos, 2000).

Investigaciones recientes (Stauffer *et al.*, 2000; Rodríguez y Sanabria, 2005; Maselli *et al.*, 2006, 2008; Pino *et al.*, 2008), señalan que los extractos vegetales pueden ser utilizados exitosamente en el control o inhibición de bacterias y hongos fitopatógenos, además pueden constituirse en una herramienta para integrar a un manejo agroecológico del cultivo, sobre todo, en pequeñas extensiones de terreno, como es el caso de las leguminosas y hortalizas.

2.12. Sustratos o soportes de crecimiento

El cultivo en hidroponía requiere de ciertas condiciones y medios para llevarse a cabo y lograr un aumento en la producción. Uno de los principales factores que determinan el éxito o fracaso en sistemas hidropónicos es el sustrato o medio de crecimiento (Pastor, 2000). La caracterización de las propiedades físicas y químicas de los sustratos es crucial para su uso efectivo y en gran medida, condiciona el potencial productivo de las plantas, ya que constituyen el medio en el que se desarrollarán las raíces, las cuales tienen gran influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Lemarre, 1997).

La producción exitosa de plantas de alta calidad en macetas, conocidas también como recipientes o contenedores, requiere de una comprensión del ambiente único encontrado en la maceta y, cómo éste es afectado por las propiedades físicas y químicas de los sustratos utilizados. Dado que el volumen de una maceta es limitado, el sustrato y sus componentes deben de poseer características físicas y químicas que, combinadas con un programa integral de manejo, permitan un crecimiento óptimo de la planta. Las propiedades físicas son consideradas como las más importantes para un sustrato, esto es, si la estructura física de un sustrato es inadecuada, difícilmente podremos mejorarla una vez que se ha establecido el cultivo; en cambio, las propiedades químicas sí pueden ser alteradas posterior al establecimiento del cultivo (Cabrera, 1995).

Se considera sustrato a todo aquel material distinto al suelo, el cual puede ser natural o sintético, mineral u orgánico, que se coloca en un contenedor, en forma pura o mezclado, para que permita el anclaje del sistema radical del cultivo (Cenid-Raspa, 2003). Las diferentes especies hortícolas, por sus características específicas, necesitan y se adaptan a ciertos tipos de sustratos tales como: Tezontle, fibra de coco, vermiculita, arena, entre otros, o bien, la mezcla de ellos, con el propósito de obtener el crecimiento óptimo y el máximo de productividad de los cultivos (López-Pérez *et al.*, 2005).

Tezontle

Se trata de una roca ígnea de un color que va del rojo, algunos tonos amarillentos, hasta negros, coloración otorgada por su principal componente el dióxido de hierro. Se encuentra de manera abundante en distintas regiones de México, cercana a volcanes. El tezontle es un material considerado como inerte desde el punto de vista químico, cuyo extracto de saturación tiene un pH próximo a la neutralidad, su capacidad de intercambio catiónico es muy baja, buena aireación, retención de humedad que varía con el diámetro de las partículas, generalmente está libre de sustancias tóxicas y tiene buena estabilidad física (Bastida, 1999), además de su bajo costo de adquisición (Castellanos, 2003).

Fibra de coco

El sustrato de fibra de coco se origina del desfibramiento industrial del mesocarpio de las cáscaras de coco, obteniéndose un sustrato de estructura granular homogénea, con alta porosidad total; además según Jasmin *et al.*, (2003) y Di Benedetto *et al.* (2000), posee elevada capacidad de aireación y retención de agua, baja densidad aparente, pH entre 5 y 6 y estructura física altamente estable. Su apariencia es similar a la turba, siendo posible distinguir gran cantidad de fibras de coco en el sustrato. Debido a sus características, este sustrato permite una alta germinación, enraizamiento y un óptimo desarrollo de las plántulas.

Según Roselló *et al.* (1999), el sustrato de coco requiere de una elevada cantidad de nitrógeno, que debe ser compensada con menor fertilización. Con respecto al pH, el mismo autor señala que el cultivo realizado en el sustrato presenta problemas debido a su alta acidez, pero puede ser un sustituto aceptable de la turba ya que presenta menor compactación y pérdida de volumen.

Vermiculita

La vermiculita es un mineral, silicato de aluminio-hierro-magnesio, el cual consiste en una serie de placas delgadas y paralelas, que son sometidas a altas temperaturas, lo que provoca la expansión de las partículas unas 15 o 20 veces (Bunt, 1988).

Ésta tiene numerosas propiedades como ser ligera en peso y poseer una estructura en placas, lo que genera una elevada proporción superficie/volumen y por lo tanto una alta capacidad de retención de humedad. Las placas contienen numerosos sitios para retener cationes, tanto externa como internamente, lo que produce una elevada CIC; tal propiedad es única para los componentes de medios de crecimiento inorgánicos, que son típicamente inertes. Bunt (1988) reporta que, puede adsorber fosfato en formas disponibles. La vermiculita contiene algo de potasio y de magnesio, los cuales son lentamente liberados para ser aprovechados por la planta. El pH es variable, normalmente dentro de un intervalo neutral (Landis, 2000).

Las partículas de vermiculita son estructuralmente inestables en un medio húmedo y pueden comprimirse a través del tiempo, por esta razón debe ser mezclada con perlita, turba o corteza, que dan resistencia contra la compactación (Bunt, 1988).

Arena

Las arenas proceden de diferentes fuentes, destacando las de río, que son depósitos de materiales heterogéneos transportados por el agua a partir de la erosión de diferentes materiales de naturaleza silíceo con más de un 50 % de SiO_2 y de otros constituyentes de naturaleza variable que depende de la roca original. Las arenas para el uso hidropónico permiten el óptimo desempeño del cultivo cuando están exentas de limos, arcillas y carbonatos de calcio (Resh, 2001).

Su densidad aproximada en g cm^{-3} es de 1.55, el espacio poroso total alcanza el 45.2 %, la porosidad susceptible a ser cubierta por aire en porcentaje por volumen es alrededor de 6.2 %, mientras que el espacio para agua fácilmente disponible es de 15.8% (Martínez y Abad, 1992).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación el experimento

La investigación experimental se realizó en el Campo experimental San José, del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, ubicado a 2250 m de altitud, 19° 29' Lat. N, 98° 54' Long O (Fotografía 1). La región tiene un clima templado (de altura), el más seco de los subhúmedos, con lluvias en verano, con una temperatura anual de 15.3°C y una precipitación aproximada de 572.25 mm anuales (García, 1988).

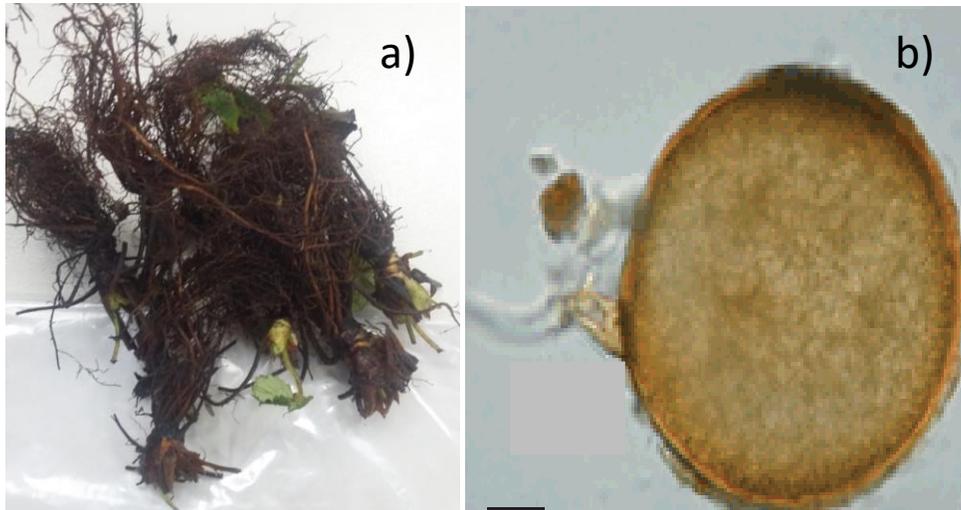


Fotografía 1. Ubicación del sitio de experimento. Fuente: Google earth 2018.

3.2. Material biológico

Se utilizaron plantas de fresa del cultivar mexicano Zamorana (Fotografía 2a), obtenidas del programa de mejoramiento del Colegio de Postgraduados; la variedad es altamente productora; sus frutos son rojos, de calidad y firmeza superior; tiene una producción precoz, con altos porcentajes de fruta con calidad de exportación; adecuada para su consumo en fresco por su gran balance en sabor. Sensibilidad moderada a cenicilla (*Sphaerotheca macularis*) y mancha angular (*Xanthamonas fragariae*) (Calderón, *et al.*, 2009).

Micorriza. Se utilizó la cepa *Funneliformis mosseae*, las esporas son de color amarillo a ámbar (0/30/100/0)-(0/20/80/0), poseen forma globosa o subglobosa y tamaño entre 100-250 μm (Rodríguez *et al.*, 2014) (Fotografía 2b), de la cual se aplicó 10, 15 y 20 g respectivamente por unidad experimental al momento del trasplante.



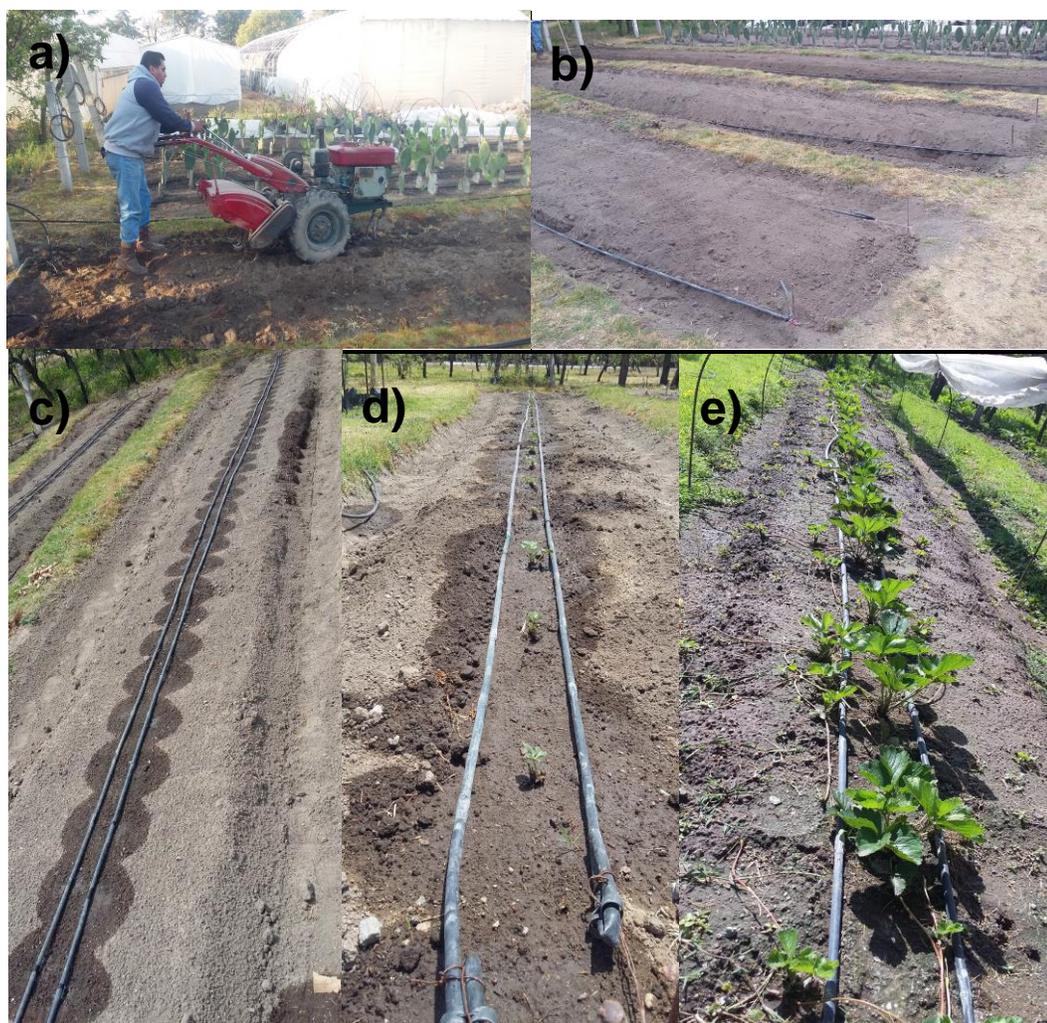
Fotografía 2. Material biológico (a) planta y b) espora) utilizado en el trabajo experimental.

3.3. Propagación de planta en campo

Para realizar esta actividad fue necesario acondicionar el terreno con un motocultor (Fotografía 3a) para facilitar la extracción manual de raíces de pastos y dejar (o formar) tres bordos de 13x1.2x0.30 metros cada uno (Fotografía 3b). Posteriormente se instaló el sistema de riego por goteo, conformado por dos cintillas de 16 mm de diámetro, con una separación de 15 cm entre las líneas regantes (cintillas), en cada bordo (Fotografía 3c), obteniendo con ello un ancho de banda de mojado de 60 cm, saturándose el suelo con agua el día anterior al trasplante (14 de marzo) con plantas madre a raíz desnuda, las cuales antes del trasplante, se sumergieron en una solución con fungicida (Rally 40®, 3 g L⁻¹) durante 15 minutos.

Las plantas madre se colocaron en una sola hilera, a 50 cm una de otra (26 plantas por línea) (Fotografía 3d), arrojando un total de 78 plantas madre en una

superficie de 78 m², cada bordo se destinó para obtener un tipo de planta (raíz desnuda, cepellón conectado a la madre y cepellón desconectado de la madre). Estas plantas se irrigan con solo agua las dos primeras semanas posteriores a su trasplante; el 29 de marzo (Fotografía 3e) se comenzaron a fertilizar vía foliar una vez por semana con Bayfolan®, Lobi 44® y Dap-Plus® como coadyuvante (4 mL L⁻¹, 10 g L⁻¹ y 2 mL L⁻¹). Para el 15 de mayo se aplicó urea al suelo (5 g planta⁻¹) y dos semanas después (31 de mayo) se aplicó quelato de hierro (4 mL L⁻¹), y microelementos (2.5 g L⁻¹). Estos últimos productos se aplicaron debido a que se presentaron deficiencias de hierro y nitrógeno.



Fotografía 3. Etapas de la instalación del vivero para propagación de la planta.

El 30 de agosto se seleccionaron las plantas hijas, se utilizaron solo aquellas que presentaban primordios radicales, para obtener los tres tipos de plantas requeridas: Raíz desnuda (PRD), con cepellón conectado a la madre (PCC) y cepellón desconectado de la madre (PCD). Para contener el cepellón de las plantas se utilizaron vasos de unicel de 100 mL, los cuales fueron llenados con turba marca PEAT MOSS® (Fotografía 4); las plantas con cepellón desconectado de la madre, sólo estuvieron 3 semanas conectadas mientras enraizaba el estolón, posteriormente se separaron y fueron colocadas dentro del invernadero (Fotografía 5).



Fotografía 4. Preparación y establecimiento de las plantas con cepellón.



Fotografía 5. Plantas con cepellón desconectado de la madre.

Se realizó la recolección y selección de plantas hijas de cada tipo las cuales fueron llevadas a la fase de invernadero; para dicha selección se consideraron las variables: Longitud de raíz (>10 cm), medida en la primera raíz de la corona hasta el final de la misma con una regla de 10 cm de longitud (Fotografía 6a); y diámetro de corona (>7 cm) midiéndose en la parte media de la corona con un vernier (Fotografía 6b).



Fotografía 6. Medición a) longitud de raíz y b) diámetro de corona.

3.4. Fase de invernadero

Se establecieron aleatoriamente las plantas hijas obtenidas de los tres diferentes tipos: Raíz desnuda, cepellón conectado a la madre y cepellón desconectado de la madre, en bolsas de vivero negras de 30x40 cm, las cuales fueron ubicadas dentro del invernadero, a una distancia de 30 cm entre planta y 50

cm entre hilera de plantas; todas establecidas en tezontle (granulometría de 2.0-5.0 mm) (8 kg por bolsa). El suelo del invernadero estuvo cubierto con “Ground Cover” (Fotografía 7).



Fotografía 7. Establecimiento de las plantas hijas para realización del estudio.

3.4.1 Sistema de riego

El suministro de agua se realizó mediante una cintilla de 16 mm con gotero auto compensable integrado a cada 30 cm (Fotografía 8); se regó diariamente por un lapso de 60 minutos, dividido en 3 tiempos de 20 minutos cada uno (8 am, 12 pm y 3 pm), durante 195 ddt. Se cuantificó el gasto de agua resultando 25 mL por minuto por gotero, lo cual indica que a cada planta se le suministró 1.5 L de agua por día.



Fotografía 8. Instalación del sistema de riego.

3.4.2. Tratamientos de fertilización y diseño experimental de los tratamientos

Se utilizaron 6 tratamientos de fertilización (Cuadro 3). La composta utilizada fue de estiércol de caprino con dos meses de almacenamiento, ésta se agregó al momento del llenado de las bolsas para una distribución homogénea en todo el sustrato, utilizando 512 g de composta por planta, cantidad recomendada de acuerdo al índice de extracción de la planta de fresa (Trinidad *et al.*, 2015).

Cuadro 3. Tratamientos de fertilización utilizados en el experimento.

TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN		DESCRIPCIÓN
Q	Químico	Solución Steiner al 50% vía suelo + 4 mL L ⁻¹ Bayfolan® vía foliar
Q-O 1	Químico- Orgánico 1*	Solución Steiner al 50%, 512 g composta de caprino y 10 g inóculo micorriza vía suelo + 3 mL L ⁻¹ lixiviado de lombriz y 2 g L ⁻¹ algas marinas (Ibermar Plus®) vía foliar
O 1	Orgánico 1*	10 mL L ⁻¹ lixiviado de lombriz, 512 g composta de caprino y 10 g inóculo de micorriza vía suelo + 3 mL L ⁻¹ extracto de ajo, 2 g L ⁻¹ algas marinas (Ibermar Plus®) y 2 mL L ⁻¹ Nutrí-Humus® vía foliar.
Q-O 2	Químico- orgánico 2*	Solución Steiner al 50%, 512 g composta de caprino y 15 g inóculo de micorriza vía suelo + 3 mL L ⁻¹ lixiviado de lombriz y 2 g L ⁻¹ algas marinas (Ibermar Plus®) vía foliar
O 2	Orgánico 2*	10 mL L ⁻¹ lixiviado de lombriz, 512 g composta de caprino y 15 g inóculo de micorriza vía suelo + 3 mL L ⁻¹ extracto de ajo, 2 g L ⁻¹ algas marinas (Ibermar Plus®) y 2 mL L ⁻¹ Nutrí-Humus® vía foliar.
Q-M 3	Químico- Micorriza 3*	Solución Steiner al 50% y 20 g inóculo de micorriza vía suelo + 4 mL L ⁻¹ Bayfolan® vía foliar

* Dosis aplicadas del inóculo de micorriza (1=10 g, 2=20 g y 3=15 g)

Todos los factores de variación considerados como químicos fueron aplicados una vez por semana manualmente, comenzando el día 12 de febrero hasta el 21 de mayo del 2018. Durante los días de aplicación de los tratamientos de fertilización

no se regaban las plantas, ya que se agregaba 1.5 L de solución por planta. Cabe mencionar, que los factores de variación considerados como orgánicos: la composta y el inóculo de micorriza sólo se agregaron una vez que fue al momento del trasplante. Las aplicaciones de los foliares se llevaron a cabo una vez por semana.

Se utilizó un diseño factorial 3 x 6 donde el primer factor corresponde al tipo de planta (raíz desnuda, cepellón conectado y cepellón desconectado de la madre) y el segundo factor se refiere al tipo de fertilización con los 6 niveles que indica el Cuadro 3, ambos factores fueron aplicados de manera aleatoria.

3.4.3 Humedad y temperatura del ambiente

La humedad y temperatura dentro del invernadero se midió desde el establecimiento del experimento, durante el desarrollo, y al final de la investigación, mediante un termómetro digital marca TFA®, tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes) en tres horarios distintos: 8 am, 12 pm y 2 pm. En la Figura 1, se muestra la temperatura promedio que se registró durante los meses de estudio en los tres horarios (8 am, 12 pm y 2 pm) registrados. Para la Figura 2, señala la humedad relativa (HR) registrada durante el tiempo de estudio, también para los tres horarios (8 am, 12 pm y 2 pm). El comportamiento promedio por mes de los tres horarios registrados, para temperatura y HR se muestra en la Figura 3.

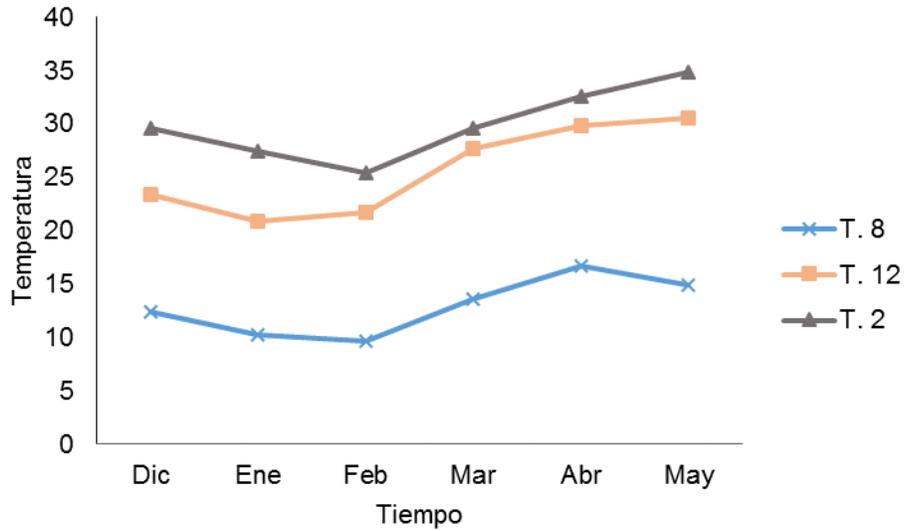


Figura 1. Temperaturas (°C) promedio por mes durante registrada en tres horarios distintos 8 am (T.8), 12 pm (T. 12) y 2 pm (T. 2), durante periodo de investigación.

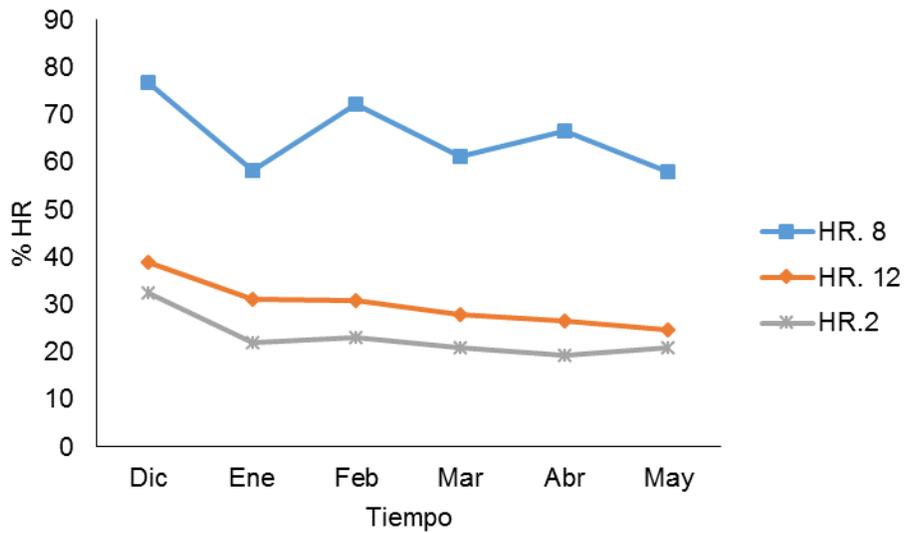


Figura 2. Porcentaje de humedad relativa (HR) promedio por mes registrada en tres horarios, 8 am (HR. 8), 12 pm (HR. 12) y 2 pm (HR. 2), durante el periodo de evaluación.

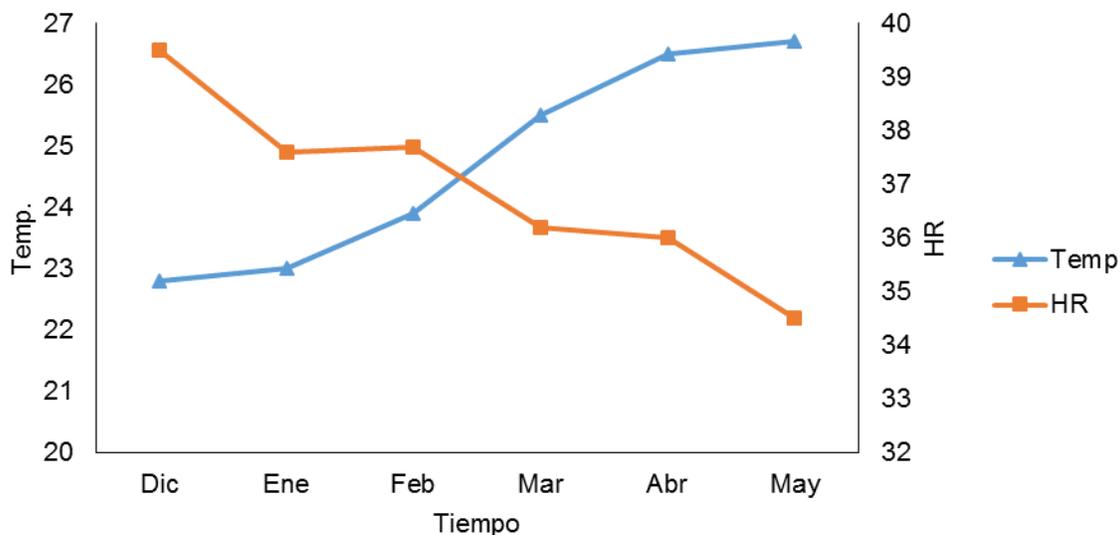


Figura 3. Temperatura (Temp.) y humedad relativa (HR) promedio registrada durante el periodo de estudio.

3.5. Muestreo de frutos y órganos de la planta

Los muestreos realizados se hicieron manualmente en seis fechas distintas [13-04-18 (156 ddt), 18-04-18 (161 ddt), 24-04-18 (167 ddt), 30-04-18 (173 ddt), 8-05-18 (181 ddt) y 15-05-18 (188 ddt)], todos aproximadamente a la misma hora (8:00 am); se recolectaron los frutos de cada tratamiento (3 plantas por tratamiento, en total 54 plantas) y se llevaron al laboratorio para evaluar la dinámica de producción de fruto por planta y peso de los frutos cosechas por planta, SST, firmeza, acidez titulable, contenido de vitamina C y calidad del fruto. Para las variables, contenido de nutrientes y hongos micorrizicos, el muestreo destructivo de planta se realizó el día 22 de mayo del 2018 [195 días después de trasplante (ddt)]; se seleccionó la planta en raíz, peciolo, hoja y fruto (2 plantas por tratamiento, por 4 órganos, en total 144 muestras).

3.6. Variables

3.6.1. Sistema de plantación

Porcentajes de establecimiento

El porcentaje de establecimiento se evaluó en 3 plantas tomadas al azar por tratamiento (54 plantas) para determinar cuántas de ellas lograron establecerse.

Inicio de floración

Se consideró el inicio de la floración cuando el 25% de las plantas presentaron flores (25%=45 plantas).

Dinámica de producción de fruto por planta y peso de los frutos cosechados por planta

Se muestrearon 3 plantas de fresa por tratamiento (54 plantas), de las cuales se cosechó la fruta en estado de madurez comercial ($\frac{3}{4}$ del total de la superficie del fruto con coloración roja). Se determinó el número de frutos cosechados (se realizó en las fechas de muestreo: 13, 18, 24 y 30 de abril así como el 8 y 15 de mayo del 2018). Posteriormente se midió el peso a los frutos cosechados de cada una de las plantas muestreadas en las fechas mencionadas, en una balanza digital durante toda la etapa de producción. Los datos se expresarán en gramos (g).

3.6.2. Fruto

Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de SST se determinó con el jugo de 3 frutos por tratamiento (18 tratamientos= 54 frutos), de acuerdo con el método ya establecido por AOAC (1990) empleando un refractómetro digital Atago modelo Pr-32 (Guangzhou, China) (Fotografía 9). Los valores se reportaron en porcentaje de SST.



Fotografía 9. Determinación del porcentaje de sólidos solubles totales (SST) en fruto de fresa.

Firmeza

La firmeza se determinó en una muestra de 3 frutos por tratamiento, en el lado opuesto al diámetro ecuatorial de cada fruto, utilizando un texturómetro con puntal cónico modelo FVD-30 (CT, USA) (Fotografía 10); los datos fueron reportados en newtons.



Fotografía 10. Medición de firmeza en fruto de fresa.

Acidez titulable

Se determinó en muestras de jugo de tres frutos por tratamiento de acuerdo a la metodología descrita por la AOAC (1990). Para lo cual se tomó 5 mL del jugo y se neutralizaron con NaOH, utilizando fenolftaleína como indicador (Fotografía 11). Los datos se reportaron como % de ácido cítrico, tomando en cuenta que la acidez valorada es de un 85 a 90 % de ácido cítrico y el resto otros ácidos orgánicos, de acuerdo a la siguiente fórmula:

Contenido de ácido cítrico (%) = $\text{mL NaOH} \times N 0.01 \times 100 / \text{mL de alícuota}$



Fotografía 11. Titulación de la muestra con NaOH.

Contenido de Vitamina C

El contenido de vitamina C se determinó por el método de Tillman. Se colocó una muestra de 3 g de fresa por tratamiento en 30 mL de ácido oxálico 0.5 %. Posteriormente se tomó una alícuota de 5 mL, la cual se tituló con el reactivo 2,6

dicloroindofenol, hasta obtener el vire a color púrpura. Los datos se reportaron en mg de ácido ascórbico en 100 g de fruta fresca.

Calidad del fruto

La clasificación de frutos se llevó a cabo de acuerdo con las normas de clasificación para la fresa (USDA, 1997) (Cuadro 4), se utilizaron 3 frutos por tratamiento.

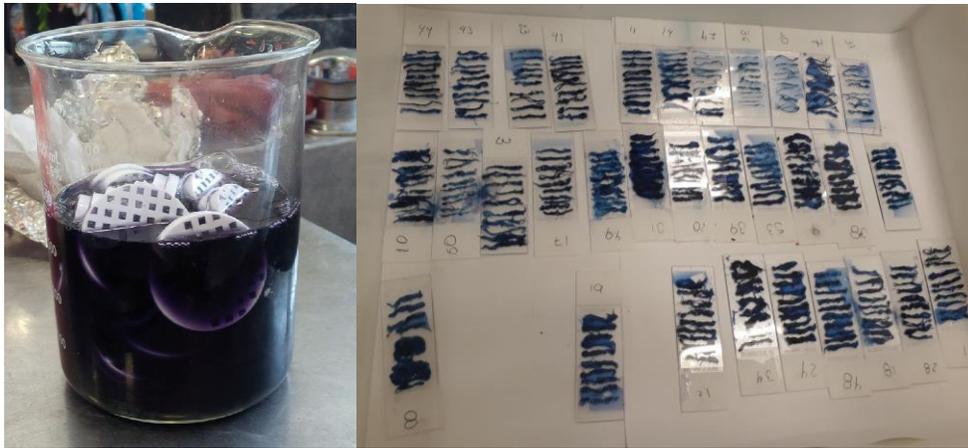
Cuadro 4. Clasificación de frutos de fresa (USDA, 1997)

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	TAMAÑO
No. 1	Fresas que tengan cáliz unido al fruto, que sean firmes y que no estén demasiado maduras, que no tengan moho y que no estén dañadas por suciedad, humedad, enfermedad, insectos o por daño mecánico. Que tengan superficie rosa o roja en tres cuartas partes.	Deben tener un diámetro mínimo de tres cuartos de pulgada (1.90 cm)
No. 2	Fresas que no se encuentren en descomposición, y que no hayan sido dañadas por suciedad, enfermedades o insectos y sin daños mecánicos. Fresas de color rosa o rojo al menos en la mitad de su superficie.	Deben tener un diámetro mínimo de cinco octavos de pulgada (1.58 cm)
No. 3	Fresas que no han sido clasificadas conforme a las categorías anteriores.	

3.6.3. Hongos micorrízicos

Porcentaje de colonización micorrizica en raíces

Para esta variable se utilizó la técnica de tinción de raíz establecida por Phillips y Hayman (1970). Se utilizaron 3 plantas por tratamiento (54 plantas) (Fotografía 12).



Fotografía 12. Tinción y montaje de raíces.

3.6.4. Concentración de nutrientes (N, P, K y Ca)

Determinación de nitrógeno total

El nitrógeno total se determinó con la metodología Microkjeldahl, en 2 plantas por combinación, en los cuatro órganos vegetales evaluados (144 muestras). Se pesó 0.1 g de materia seca y se depositó en un matraz de digestión de 30 mL, se le agregó 1.5 mL de ácido sulfúrico-salicílico; se sometió a digestión en planchas de arena a 300°C durante 3 horas aproximadamente hasta obtener un extracto de color verde claro, al término de la digestión se le agregaron 10 mL de agua desionizada; luego pasó al destilador donde se le agregaron 14 mL de sosa al 50%. El destilado se recibió en un matraz con cinco gotas del indicador verde bromocresol + rojo de metilo y 20 mL de ácido bórico al 4 % hasta lograr 50 mL del destilado, dando una coloración azul pálido. La titulación de la solución extraída se hizo con ácido sulfúrico 0.049 N, que al mezclarse con la solución, vira a un color rosado; se cuantificó el gasto del ácido para realizar así los cálculos con la ecuación siguiente:

$$\% N = \frac{\text{Volumen gastado del ácido} \times \text{Normalidad del H}_2\text{SO}_4 \times 14}{\text{Peso de la muestra}}$$

La concentración obtenida en porcentaje, se transformó a miligramos de N por gramo de materia seca, con lo que se obtuvo la concentración en unidades internacionales; el contenido total de N, se obtuvo multiplicando la concentración obtenida por el total de peso del órgano vegetal evaluado.

Determinación de fósforo total

El P total fue determinado por el método de Vanadato Molibdato amarillo. Se utilizaron 2 plantas por tratamientos, en cuatro órganos vegetales. Se pesaron 0.5 g de material seco, el cual fue colocado en un matraz de digestión de 30 mL de la mezcla ácidos perclórico + sulfúrico, ambos concentrados. Posteriormente se pusieron a digerir en las planchas de arena a 300°C durante cinco horas aproximadamente, y se retiraron de la plancha, cuando la solución tomó una coloración cristalina y quedó un volumen aproximado de 1.5 a 3.0 mL; se dejó enfriar y se le agregaron 10 mL de agua desionizada. Esta solución se transfirió a matraces volumétricos de 25 mL aforando con agua desionizada; se agitaron un poco y se filtraron en frascos. De esta solución se tomaron alícuotas de 1 mL que se colocaron en un matraz volumétrico de 10 mL; agregándose 1.5 mL de la mezcla Vanadato de amonio y heptamolibdato de amonio, y se aforó a la capacidad del matraz; después se agitó levemente y se procedió a tomar la lectura en el fotocolorímetro a 470 nanómetros. Los datos obtenidos se compararon contra una curva de calibración y los cálculos se efectuaron con la siguiente ecuación:

$$\% P = \frac{\text{Absorbancia} \times \text{volumen digestión} \times \text{volumen dilución}}{\text{Peso de la muestra} \times \text{alícuota}}$$

El contenido total se obtuvo al multiplicar la concentración convertida a miligramos de P por gramo de materia seca por el peso seco total del órgano vegetal evaluado.

Determinación de potasio

Del filtrado de la digestión inicial indicado en la determinación de P se tomó 1 mL y se colocó en un matraz volumétrico de 25 mL aforándose a dicho volumen. Se agitó levemente y se procedió a tomar la lectura en un espectrofotómetro de absorción atómica, por emisión marca GBC Scientific Equipment modelo SAVANTA y el cálculo se efectuó con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\text{ppm K} \times \text{volumen digestión} \times \text{volumen dilución}}{\text{Peso de la muestra}}$$

Al igual que para N y P, se obtuvieron los valores de concentración de K en mg g^{-1} de materia seca del órgano vegetal evaluado en 144 muestras (2 por combinación en 4 órganos de la planta).

Determinación de calcio

Para el calcio se pesaron 0.5 g de muestra de materia seca de cada órgano vegetal para 2 plantas por tratamiento, a las cuales se les agregó 10 mL de ácido nítrico y 3.5 mL de una mezcla de ácido perclórico más ácido sulfúrico. La muestra se llevó a la plancha de digestión, en donde estuvieron por 3-4 horas hasta alcanzar los 260°C , posteriormente se filtraron las muestras para hacer una solución madre, que es la solución restante del filtrado. Se hicieron diluciones para leer los valores en el espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC Scientific Equipment modelo SAVANTA.

3.7. Diseño Experimental y Análisis de datos

Para este trabajo de investigación, se utilizó un diseño factorial 3×6 completamente al azar, con 10 repeticiones por combinación de tratamiento. La unidad experimental consistió en una bolsa con una planta de fresa. El análisis fue realizado mediante el procedimiento GLIMMIX, y la comparación de medias fue ajustada mediante la prueba de Tukey con una significancia de 0.05, SAS Studio University Edition.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Porcentaje de establecimiento

Tras la propagación de las plantas, las plantas resultantes son individuos que están expuestos a diversas amenazas bióticas y abióticas que limitan su supervivencia (Padilla y Pugnaire, 2006). En el Cuadro 5, se observa que el porcentaje de establecimiento de las plantas durante el experimento fue del 100 % para todos los tratamientos evaluados, resultados que se pueden atribuir al tipo de sustrato que se utilizó (tezontle), el cual, en general, presenta buenas características para un óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas, entre las que se tiene el buen drenaje, densidad aparente entre media y alta, y una porosidad entre 65 y 70% (Castellanos, 2016).

Además, el uso de tezontle como sustrato, disminuye la presencia de enfermedades causantes de pudriciones en raíz (García, 2010).

Cuadro 5. Porcentaje de establecimiento de plantas en los 18 tratamientos evaluados

Tratamientos ¹	% Establecimiento
Q-PRD	100
Q-PCC	100
Q-PCD	100
Q-O 1-PRD	100
Q-O 1-PCC	100
Q-O 1-PCD	100
O1-PRD	100
O1-PCC	100
O1-PCD	100
Q-O 2-PRD	100
Q-O 2-PCC	100
Q-O 2-PCD	100
O2-PRD	100
O2-PCC	100
O2-PCD	100
Q-M 3-PRD	100
Q-M 3-PCC	100
Q-M 3-PCD	100

¹ Q-PRD= Sólo fertilización química con planta a raíz desnuda; Q-PCC= Sólo fertilización química con planta en cepellón conectada; Q-PCD= Sólo fertilización química con planta en cepellón desconectada; Q-O 1-PRD= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA con planta a raíz desnuda; Q-O 1-PCC= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA con planta en cepellón conectada ; Q-O 1-PCD= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA con planta en cepellón desconectada; O1-PRD= Solo fertilización orgánica con 10 g de HMA con planta a raíz

desnuda; O1-PCC= Solo fertilización orgánica con 10 g de HMA con planta en cepellón conectada; O1-PCD= Solo fertilización orgánica con 10 g de HMA con planta en cepellón desconectada; Q-O 2-PRD= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA con planta a raíz desnuda; Q-O 2-PCC= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA con planta en cepellón conectada; Q-O 2-PCD= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA con planta en cepellón desconectada; O2-PRD= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA con planta a raíz desnuda; O2-PCC= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA con planta en cepellón conectada; O2-PCD= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA con planta en cepellón desconectada; Q-M 3-PRD= Fertilización química con 20 g de HMA con planta a raíz desnuda; Q-M 3-PCC= Fertilización química con 20 g de HMA con planta en cepellón conectada y Q-M 3-PCD= Fertilización química con 20 g de HMA con planta en cepellón desconectada.

4.2. Inicio de floración

En el Cuadro 6 se muestra las diferentes fechas en las cuales aparecieron las primeras flores en los diferentes tratamientos evaluados en el trabajo experimental, encontrando que el 8 de marzo del 2018, fue el primer día donde se registró presencia de flores en los tratamientos con fertilización química más orgánica con 10 g de HMA con planta en cepellón conectada (Q-O 1-PCD), sólo fertilización orgánica con 15 g de HMA con planta en cepellón conectada (O2-PCC) y sólo fertilización orgánica con 15 g de HMA con planta en cepellón desconectada (O 2-PCD). Los tratamientos de solo fertilización química con planta a raíz desnuda (Q-PRD) y fertilización química más orgánica con 10 g de HMA con planta a raíz desnuda (Q-O 1-PRD), fueron los que presentaron las flores más tardíamente con fecha el 18 de marzo del 2018.

Estos resultados pueden ser atribuidos al origen de la planta en vivero, ya que se muestra que las primeras flores aparecieron en los tratamientos donde se utilizó planta de tipo cepellón conectado a la madre; el efecto de que el estolón estuviera conectado a la planta madre hasta el momento previo al trasplante va dirigido a que las nuevas plantas adquieren las señales que producen las hojas maduras de la planta madre, para dar la inducción floral que hacen posible la floración (Taoka *et al.*, 2011). Además, estos resultados confirman lo mencionado por Durner *et al.* (2002), quienes mencionan que las plantas cultivadas en charolas con la finalidad de formar un cepellón, suelen ofrecer una mejor oportunidad para controlar factores críticos de producción que influyen en la salud del establecimiento del trasplante y la obtención de un rendimiento temprano.

El uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), puede ser también el motivo por el cual se presentó una floración temprana, resultados que confirman lo

mencionado por diversos autores, quienes mencionan que el uso de HMA favorecen a las plantas, en cuanto al peso, altura, diámetro, inicio de floración y número de brotes en comparación de las plantas no micorrizadas (Atkinson *et al.*, 1994; Graham y Eissenstat, 1998; González-Chávez *et al.*, 2000; Pedraza-Santos *et al.*, 2001).

Por otra parte, el inicio de la floración, también está determinado por factores como luz, temperatura, fitohormonas (giberelinas y poliaminas) y condiciones nutricionales de la planta (Garau *et al.*, 2000).

Cuadro 6. Fechas en las que se registró el inicio de floración en los diferentes tratamientos evaluados.

TRATAMIENTOS ¹	FECHA INICIO DE FLORACIÓN
Q-PRD	18/03/18
Q-PCC	12/03/18
Q-PCD	12/03/18
Q-O 1-PRD	18/03/18
Q-O 1-PCC	8/03/18
Q-O 1-PCD	16/03/18
O1-PRD	17/03/18
O1-PCC	9/03/18
O1-PCD	16/03/18
Q-O 2-PRD	16/03/18
Q-O 2-PCC	12/03/18
Q-O 2-PCD	17/03/18
O2-PRD	15/03/18
O2-PCC	8/03/18
O2-PCD	8/03/18
Q-M 3-PRD	15/03/18
Q-M 3-PCC	9/03/18
Q-M 3-PCD	15/03/18

¹Q-PRD= Sólo fertilización química con planta a raíz desnuda; Q-PCC= Sólo fertilización química con planta en cepellón conectada; Q-PCD= Sólo fertilización química con planta en cepellón desconectada; Q-O 1-PRD= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA con planta a raíz desnuda; Q-O 1-PCC= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA con planta en cepellón conectada ; Q-O 1-PCD= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA con planta en cepellón desconectada; O 1-PRD= Solo fertilización orgánica con 10 g de HMA con planta a raíz desnuda; O 1-PCC= Solo fertilización orgánica con 10 g de HMA con planta en cepellón conectada; O 1-PCD= Solo fertilización orgánica con 10 g de HMA con planta en cepellón desconectada; Q-O 2-PRD= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA con planta a raíz desnuda; Q-O 2-PCC= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA con planta en cepellón conectada; Q-O 2-PCD= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA con planta en cepellón desconectada; O 2-PRD= Sólo fertilización orgánica con 15 g de HMA con planta a raíz desnuda; O 2-PCC= Sólo fertilización orgánica con 15 g de HMA con planta en cepellón conectada; O 2-PCD= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA con planta en cepellón desconectada; Q-M 3-PRD= Fertilización química con 20 g de HMA con planta a raíz desnuda; Q-M 3-PCC= Fertilización química con 20 g de HMA con planta en cepellón conectada y Q-M 3-PCD= Fertilización química con 20 g de HMA con planta en cepellón desconectada.

4.3. Dinámica de producción

4.3.1 Número de frutos

En general, los componentes que determinan la producción de frutos, aumentan con el desarrollo de la planta, por tanto, el porcentaje de fructificación está relacionado principalmente con el desarrollo de la corona, la raíz y el número de flores e inflorescencia (Basoccu, 1972). En el Cuadro 7, se observa, que para las fechas de muestreo 1, 2, 4 y 6, no existen diferencias significativas en cuanto al número de frutos por planta, sin embargo, en las fechas 3 y 5 de muestreo (167 y 181 ddt), sí presentaron diferencias estadísticamente significativas.

A pesar de que los resultados no son constantes en cuanto a la significancia en las diferentes fechas de muestreo, se observa que las plantas con fertilización a base de solución Steiner al 50%, 512 g composta de caprino y 15 g de inóculo de micorriza vía suelo + 3 mL L⁻¹ lixiviado de lombriz y 2 g L⁻¹ algas marinas vía foliar (Q-O 2), son en las que se obtiene el mayor número de frutos (3.7) por cosecha; por tanto el número de frutos por planta está influenciado directamente por el tipo de fertilización utilizada.

En el mismo Cuadro 7, se puede observar que en la fecha de muestreo 5 (181 ddt), cuando interaccionó la fertilización química + la orgánica con 15 g de micorriza, se produjo el mayor número de frutos por planta (4.4), sin embargo, no presentó diferencias estadísticas en relación con las demás combinaciones de tratamientos. Lo anterior coincide con lo reportado por Cekic y Yilmaz (2011), quienes encontraron que el número de frutos por planta en fresa, se incrementa cuando el sustrato fue inoculado con micorriza (*G. clarum*), en comparación cuando no se aplicó. Por su parte, Alvarado *et al.* (2014), encontraron, que el número de frutos de fresa se incrementa cuando se utilizan sustratos elaborados a base de composta de ovino.

En el presente estudio, al realizar aplicaciones de Ibermar Plus® en las plantas, el número de frutos por planta se incrementó en un 5.7 % (Q-O 2), respecto al tipo de fertilización química en el cual no se agregaron (Q). Este efecto positivo puede

estar asociado a lo reportado por Crouch *et al.* (1990), quienes explican que las aplicaciones de extracto de algas contribuyen a mejorar la absorción de nutrientes por medio de las raíces, además de mejorar el aprovechamiento del agua, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de la planta. Lo anterior coincide con el trabajo reportado por Monteiro y Mexia (1988), quienes aplicaron vía foliar Algamix® en melón a campo abierto y encontraron que favorece un mayor número de frutos por planta.

Por su parte Purquerio *et al.* (2003), concuerdan con lo mencionado anteriormente e informan que se pueden conseguir de dos a tres frutos por planta en el cultivo de melón en invernadero, aplicando extractos de algas marinas.

Cuadro 7. Efecto de los tipos de fertilización y el origen de planta en vivero sobre la variable número de frutos por planta, en las diferentes fechas de muestreo.

FACTOR A ³	FECHAS DE MUESTREO					
	F1 ²	F2	F3	F4	F5	F6
Q	2.11 a ¹	3.3 a	2.6 c	3.8 a	3.7 bc	4.3 a
Q-O 1	1.93 a	3.1 a	3.4 ab	3.3 a	4.4 a	4.5 a
O1	1.81 a	3.1 a	2.9 bc	3.7 a	3.4 c	4.3 a
Q-O 2	2.11 a	2.9 a	3.7 a	3.7 a	4.0 ab	4.6 a
O 2	2.18 a	2.9 a	3.0 abc	3.4 a	3.6 bc	4.4 a
Q-M 3	2.27 a	3.1 a	3.0 abc	3.5 a	3.9 abc	4.6 a
FACTOR B ⁴						
T1	1.9 a	3.1 a	2.9 a	3.4 a	3.7 a	4.5 a
T2	2.2 a	3.2 a	3.0 a	3.5 a	3.9 a	4.3 a
T3	2.1 a	2.9 a	3.4 a	3.8 a	3.7 a	4.5 a
INTERACCIÓN A*B	NS ⁵	NS	NS	NS	NS	NS

¹Valores con diferente letra dentro de la columna y factor, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

²F1= Fecha de muestreo 1 (156 ddt); F2= Fecha de muestreo 2 (161 ddt); F3= Fecha de muestreo 3 (167 ddt); F4= Fecha de muestreo 4 (173 ddt); F5= Fecha de muestreo 5 (181 ddt) y F6= Fecha de muestreo 6 (188 ddt).

³Q= Sólo fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA; O 1= Sólo fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O 2= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA; Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA.

⁴PRD= Planta a raíz desnuda; PCC= Planta en cepellón conectada y PCD= Planta en cepellón desconectada.

⁵NS= No significativo y S= Significativo.

En la Figura 2, se observa el efecto que tiene las diferentes fechas de muestreo en el número de frutos por planta al momento de la cosecha, teniendo que, en la fecha 1 (156 ddt), se obtiene el menor número de frutos, y el mayor, se registró la

fecha 6 (188 ddt); este comportamiento puede ser atribuido a la etapa de desarrollo más avanzado que la planta presentó al momento de la última cosecha evaluada.

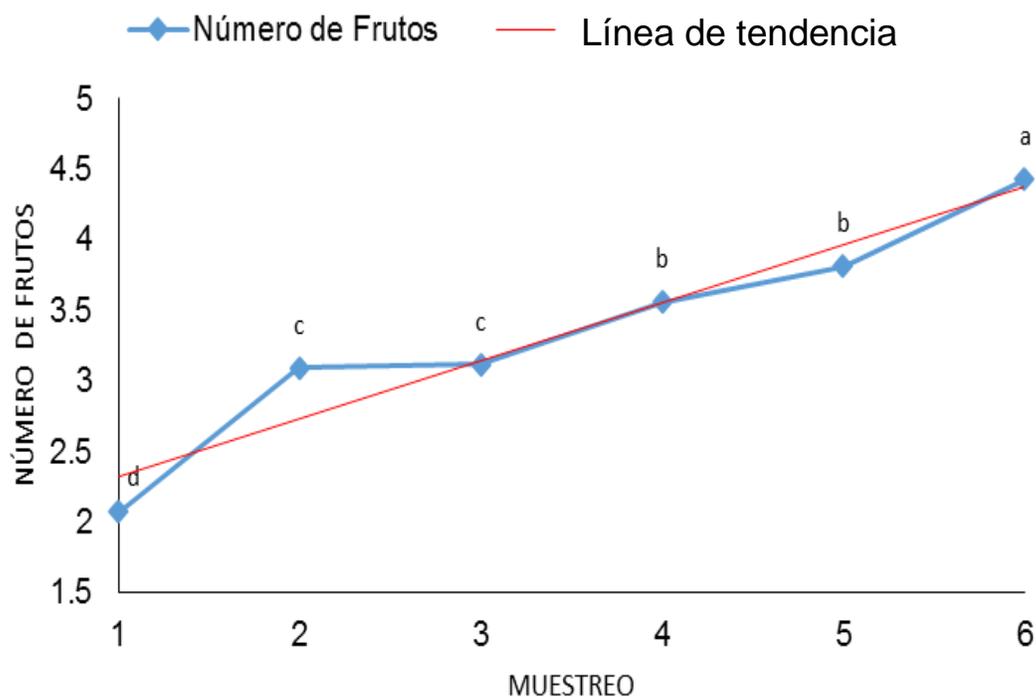


Figura 4. Dinámica de producción de frutos promedio por planta en respuesta a fechas de cosecha.

El número de frutos pudo haber ido en aumento debido a que las temperaturas se fueron incrementando, conforme el tiempo pasaba, ya que el periodo de cosecha coincidió con el aumento de temperatura en esos meses, ya que cuando la temperatura es muy baja, la tasa de fotosíntesis es mínima, independientemente de la luz existente, el índice de fotosíntesis aumentará con el aumento de temperatura ambiental (Kadir *et al.*, 2006). Estas condiciones permiten, tanto una mayor acumulación de fotoasimilados (Rasmusson *et al.*, 2014), como la aceleración del proceso de desarrollo de la planta, lo que resulta en frutos con mayor tamaño (Wills *et al.*, 2007). El haber obtenido mejores resultados con los tratamientos que incluyen composta de caprino (Q-O 1; Q 1; Q-O 2; O 2), en

combinación con Inóculo de micorriza y fertilización química, puede deberse a la producción de reguladores de crecimiento sintetizados por los microorganismos durante el proceso de compostaje (Welke, 2004). Además, es importante mencionar que los aspectos químicos, físicos y biológicos de la composta elaborada con estiércol, varía de acuerdo con el patrón de alimentación del ganado (Reinés, 2004).

4.3.2 Peso promedio de los frutos

En el Cuadro 8, se observa que el peso promedio de fruto mostró diferencias estadísticas entre tipos de fertilización. El tratamiento de fertilización compuesto por la mezcla de fertilizante químico más orgánico con 15 g de HMA (Q-O 2), presentó frutos con un peso promedio de 32.7 g fruto⁻¹, siendo éste el máximo valor para esta variable, mientras que en el tipo de fertilización química con 20 g HMA, se observó el menor peso promedio de frutos con 22.6 g. Resultados que coinciden con lo reportado Palha *et al.* (2009), quienes demostraron que la aplicación de un método químico combinado con un método orgánico al suelo, incrementa significativamente el peso fresco de fruto de fresa, comparado con el testigo.

Trabajos experimentales muestran que hay dosis óptimas para cada cultivo y cuando se excede esa dosis, las micorrizas tendrán un comportamiento anormal que pueden, más que aumentar la producción, la pueden reducir, porque metabólicamente son una mayor carga para la planta y ésta se ve afectada en el crecimiento reproductivo: menor número de flores, menor cantidad de frutos, etc. (Enríquez y Bernal, 2009).

Por otra parte, las diferentes condiciones ambientales, particularmente de temperatura, en la que se realizaron los muestreos, causaron diferencias significativas, siendo en el muestreo 6 (188 ddt), en el que se encontraron, en promedio, los frutos con mayor peso (42.52 g), contrario de lo observado en el muestreo 1 (156 ddt), que fue donde, en promedio se cosecharon los frutos más pequeños (14.29 g).

Cuadro 8. Efecto de los tipos de fertilización y el tipo de planta en vivero sobre peso promedio de los frutos, en las diferentes fechas de muestreo.

FACTOR A ³	FECHAS DE MUESTREO					
	F1 ²	F2	F3	F4	F5	F6
Q	13.4 a ¹	22.8 bc	26.0 b	36.5 a	33.1 b	40.4 b
Q-O 1	16.4 a	21.9 bc	29.9 a	33.1 a	36.5 ab	40.4 ab
O1	15.2 a	23.3 bc	26.0 b	29.9 a	33.1 b	40.4 ab
Q-O 2	12.9 a	29.0 a	33.1 a	36.5 a	40.4 a	44.7 a
O 2	13.5 a	23.8 b	24.5 b	36.5 a	33.1 b	40.4 b
Q-M 3	13.3 a	18.2 c	27.1 b	33.1a	33.1 b	40.4 b
FACTOR B ⁴						
PRD	13.0 a	18.9 a	28.4 a	34.6 a	38.4 a	39.2 a
PCC	12.9 a	19.3 a	29.1 a	33.8 a	39.2 a	40.1 a
PCD	13.2 a	20.1 a	29.8 a	34.1 a	38.8 a	39.8 a
INTERACCION A*B	NS ⁵	NS	NS	NS	NS	NS

¹Valores con diferente letra dentro de la columna y factor, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

²F1= Fecha de muestreo 1 (156 ddt); F2= Fecha de muestreo 2 (161 ddt); F3= Fecha de muestreo 3 (167 ddt); F4= Fecha de muestreo 4 (173 ddt); F5= Fecha de muestreo 5 (181 ddt) y F6= Fecha de muestreo 6 (188 ddt).

³Q= Sólo fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA; O1= Sólo fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O2= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA; Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA.

⁴PRD= Planta a raíz desnuda; PCC= Planta en cepellón conectada y PCD= Planta en cepellón desconectada.

⁵NS= No significativo y S= Significativo.

4.4. Contenido de sólidos solubles totales (SST)

Con relación al contenido de sólidos solubles totales, se observa en el Cuadro 9, que en las fechas de muestreo 3, 4, 5 y 6, se presentan diferencias estadísticamente significativas, siendo el muestreo 6 donde el tratamiento de fertilización química con 20 g de HMA (Q-M 3), fue el que presentó los frutos con mayor contenido de SST (11.2); caso opuesto sucedió para las fecha 1 de muestreo (156 ddt, respectivamente) en donde se obtuvieron los frutos con la menor concentración de SST, con un valor de 7.0 para el mismo tratamiento de fertilización. Este parámetro es muy importante para la definición de la calidad del sabor en frutos de fresa, siendo establecida como necesario, un mínimo del 7% y un valor deseable de 10 % SST (Minolta, 1996).

Cuadro 9. Efecto del tipo de fertilización y de reproducción de planta en vivero (factor A y B), sobre la concentración de sólidos solubles totales (SST) en frutos en los tiempos de cosecha.

FACTOR A ³	FECHAS DE MUESTREO					
	F1 ²	F2	F3	F4	F5	F6
Q	7.7 a ¹	8.4 a	7.7 b	7.8 ab	9.4 ab	9.9 b
Q-O 1	7.4 a	8.2 a	8.6 ab	7.2 b	8.7 b	9.3 b
O1	7.4 a	9.1 a	8.8 ab	8.3 a	10.9 a	9.3 b
Q-O 2	8.1 a	8.2 a	9.1 a	8.4 a	9.1 ab	9.5 b
O 2	8.1 a	8.9 a	8.3 ab	8.3 a	9.9 ab	9.1 b
Q-M 3	7.0 a	8.7 a	8.2 ab	8.6 a	9.2 ab	11.2 a
FACTOR B ⁴						
PRD	8.0 a	8.6 a	8.3 a	8.3 a	8.9 a	9.8 a
PCC	7.1 a	8.5 a	8.6 a	8.0 a	9.9 a	9.6 a
PCD	7.9 a	8.6 a	8.5 a	8.0 a	9.8 a	9.8 a
INTERACCION A*B	NS ⁵	NS	NS	S	NS	NS

¹Valores con diferente letra dentro de la columna y factor, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

²F1= Fecha de muestreo 1 (156 ddt); F2= Fecha de muestreo 2 (161 ddt); F3= Fecha de muestreo 3 (167 ddt); F4= Fecha de muestreo 4 (173 ddt); F5= Fecha de muestreo 5 (181 ddt) y F6= Fecha de muestreo 6 (188 ddt).

³Q= Sólo fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA; O1= Sólo fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O2= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA; Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA.

⁴PRD= Planta a raíz desnuda; PCC= Planta en cepellón conectada y PCD= Planta en cepellón desconectada.

⁵NS= No significativo y S= Significativo.

La mejora en los SST en las últimas fechas de muestreo, podría estar relacionada con el mejor estado nutricional de la planta, resultados que coinciden con los reportados por Cekic e Yilmaz (2011), quienes demostraron que la inoculación de micorrizas en plantas de fresa, tuvo un buen efecto en el contenido de SST en los frutos, comparado con los provenientes de las plantas no inoculadas. Sin embargo, en frambuesa, la inoculación de *Funneliformis mosseae* disminuye el porcentaje de SST, efecto que se le atribuye a la competencia por asimilados entre el fruto y la micorriza (Campos-Mota *et al.*, 2004). Según Jennings (1988), las micorrizas arbusculares incrementan el porcentaje de SST, debido a un mayor transporte de fotoasimilados a los frutos, a resultas de un mejor aprovechamiento de la intensidad luminosa.

Aunado a todo lo anterior, se debe considerar que el agua representa una importante porción de la masa de la fruta (85 %), contribuyendo los carbohidratos

al 75-80 % de los SST; como consecuencia, la regulación de los carbohidratos que se incorporan a la fruta tiene un gran impacto sobre la calidad interna de la fruta; el crecimiento de la fruta en parte está en función del estado hídrico de la planta y del reparto de carbohidratos, además de la temperatura (Almaguer, 1998).

4.5. Firmeza

En el Cuadro 10 se muestra el efecto que tiene el Factor A (tratamientos de fertilización) y el Factor B (tipos de planta en el vivero), sobre firmeza de frutos, observando que la fertilización química con 20 g de inóculo micorrízico (Q-M 3), en los muestreos 1, 2, 4 y 5, fue la que promovió mayor firmeza de fruto, sin embargo, es sólo para el muestreo 1 en donde se presentaron diferencias estadísticamente significativas, con un valor de 1.1 newtons, observándose que este tipo de fertilización resulta en 33.3 % superior a la fertilización orgánica con 15 g de HMA, que presentó un valor de 0.8 newtons; solamente en el caso del muestreo 6, la firmeza de frutos es estadísticamente superior a tratamiento Q-M 3.

Cuadro 10. Efecto del tipo de fertilización y el tipo de planta en vivero sobre la variable firmeza (newtons) de frutos de fresa en los tiempos de cosecha.

FACTOR A ³	FECHAS DE MUESTREO					
	F1 ²	F2	F3	F4	F5	F6
Q	0.9 b ¹	0.8 b	0.8 b	0.8 b	0.9 b	1.0a
Q-O 1	0.9 b	0.8 b	0.9 ab	0.9 ab	1.0 ab	0.9 ab
O1	0.8 b	0.9 ab	0.8 ab	0.9 ab	1.0 ab	0.9 ab
Q-O 2	0.8 b	0.8 b	0.9 ab	0.9 b	0.8 b	0.9 ab
O 2	0.7 b	0.7 b	0.9 a	0.8 b	0.8 b	0.9 b
Q-M 3	1.1 a	1.1 a	0.9 ab	1.3 a	1.6 a	0.9 b
FACTOR B ⁴						
PRD	0.9 a	0.8 a	0.9 a	0.9 a	1.0 a	1.0 a
PCC	0.9 a	0.9 a	0.8 a	0.9 a	0.9 a	0.9 a
PCD	0.9 a	0.8 a	0.9 a	1.0 a	1.0 a	0.9 a
INTERACCIÓN A*B	NS ⁵	NS	NS	NS	NS	NS

¹Valores con diferente letra dentro de la columna y factor, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

²F1= Fecha de muestreo 1 (156 ddt); F2= Fecha de muestreo 2 (161 ddt); F3= Fecha de muestreo 3 (167 ddt); F4= Fecha de muestreo 4 (173 ddt); F5= Fecha de muestreo 5 (181 ddt) y F6= Fecha de muestreo 6 (188 ddt).

³Q= Sólo fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA; O 1= Sólo fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O 2= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA; Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA.

⁴PRD= Planta a raíz desnuda; PCC= Planta en cepellón conectada y PCD= Planta en cepellón desconectada.

⁵ NS= No significativo y S= Significativo.

La firmeza de fruto refleja cambios significativos en las diferentes fechas de muestreo (Figura 5), de tal manera que los frutos cosechados a los 188 ddt (muestreo 6) son lo que presentaron mayor firmeza (0.96 Newtons), en comparación con los frutos obtenidos en el primer muestreo (156 ddt); de aquí se observa que el efecto que tienen los tratamientos de fertilización combinados con la variación ambiental, a través del tiempo, tienen un efecto positivo en la firmeza de los frutos de fresa.

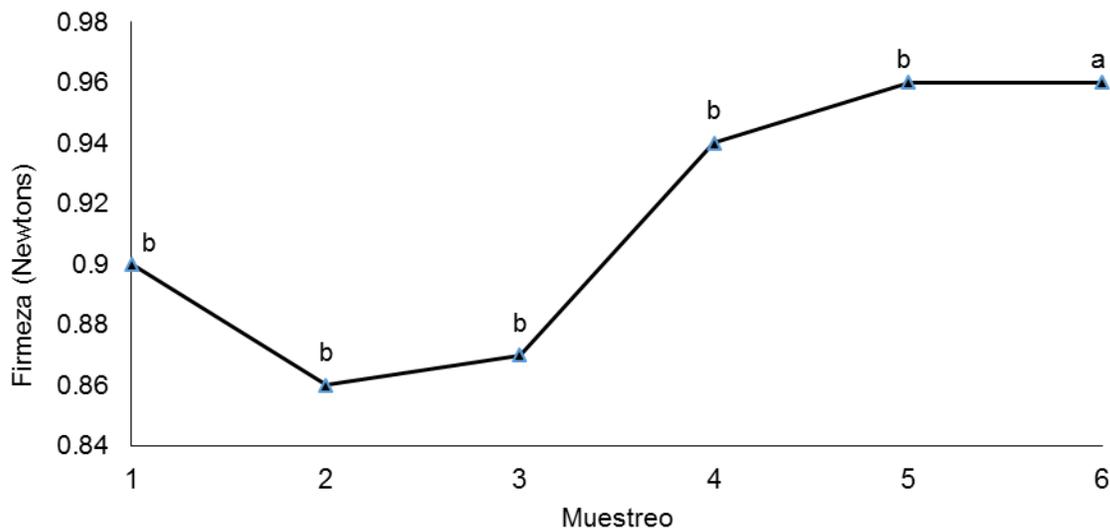


Figura 5. Efecto de la combinación de tratamientos sobre la variable firmeza a través de las fechas de muestreo.

Uno de los aspectos más sobresalientes que se ha reportado sobre el efecto de la aplicación de microorganismos rizosféricos sobre la calidad de frutos, ha sido el mejoramiento de la textura (firmeza); Mena-Violante y Olalde-Portugal (2007), mostraron que la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (*Bacillus subtilis*) a las raíces de tomate, incrementó significativamente la firmeza de los frutos; Charron *et al.* (2001), reportaron diferencias en este atributo físico en bulbos de cebolla (*Allium cepa*), debidas a la inoculación con HMA.

La firmeza de los frutos es de suma importancia en fresa, ya que acorde a lo mencionado por Mitchell *et al.* (1998), los frutos que presentan menor firmeza son susceptibles a daños durante la selección, empaque, transporte y distribución, y observan mayor susceptibilidad al ataque de patógenos, así como menor capacidad de conservación y calidad de fruto (Maroto y López, 1988). Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se asemejan a lo reportado por Palencia *et al.* (2013), quienes mencionan que las inoculaciones con micorrizas en las plantas de fresa mejoran la firmeza del fruto, ya que la acción del hongo puede mejorar la estructura celular, debido a un mayor transporte de Ca del suelo hacia el fruto. La tendencia de los HMA a mejorar la firmeza es evidente, sin embargo, el efecto no fue constante, esto podría deberse a que la fisiología de maduración de estos productos agrícolas es distinta, siendo la fresa un fruto no climatérico (Given *et al.*, 1988).

4.6. Acidez titulable

En el Cuadro 11, en las fechas 1, 2, 5 y 6, de muestreo no se encontraron diferencias estadísticas significativas; sin embargo, para la fecha 3 y 4 de muestreo (167 y 173 ddt, respectivamente), fueron los frutos de plantas solamente fertilizadas con compuestos orgánicos y 15 g de inóculo micorrizico los que presentaron menor acidez titulable, con valores de 0.8 y 0.9 %; es decir, frutos con menor cantidad de ácidos orgánicos, que podrían tener mayor aceptación por parte de los consumidores. Frederick (1994), indica que para la obtención de una fruta de calidad comercial comestible, tiene más importancia la tasa de descenso de la acidez titulable, que la de los sólidos solubles.

El manejo de la fertilización influye de manera directa sobre la variable respuesta evaluada; en el primer muestreo, los frutos de todos los tipos de fertilización superaron la concentración máxima de ácido cítrico de 0.8 % (Kader, 1999), recomendada para un sabor aceptable. Sin embargo, conforme pasó el tiempo en las diferentes fechas de muestreo, la concentración de acidez titulable disminuyó (Figura 6), lo cual se atribuyó a las condiciones ambientales que se presentaron durante la cosecha, resultados que coinciden con lo reportado por Hakala *et al.*

(2002), quienes mencionan que las condiciones ambientales al momento de la cosecha pueden influir en las características de calidad en frutos de fresa.

Aunado a lo anterior, Agustí (2004), menciona que la acidez titulable es función de la temperatura (acumulación de unidades calor), que también puede afectar la velocidad de respiración de ácidos orgánicos a éstas temperaturas, aunque la tasa de disminución también crezca y disminuyan los niveles mínimos de los ácidos orgánicos presentes en el fruto, por el efecto de las lluvias excesivas.

Cuadro 11. Efecto de los tipos de fertilización y el tipo de planta en vivero sobre la variable acidez titulable (% de ácido cítrico) de frutos, en los tiempos de cosecha.

FACTOR A ³	FECHAS DE MUESTREO					
	F1 ²	F2	F3	F4	F5	F6
Q	1.3 a ¹	1.0 a	0.9 a	1.1 a	1.0 a	0.8 a
Q-O 1	1.3 a	0.9 a	0.9 ab	0.9 ab	0.9 a	0.9 a
O1	1.6 a	1.0 a	0.9 ab	1.0 ab	1.0 a	0.8 a
Q-O 2	1.4 a	1.0 a	0.9 ab	0.9 ab	1.0 a	0.9 a
O 2	1.5 a	0.9 a	0.8 b	0.9 b	1.0 a	0.9 a
Q-M 3	1.5 a	1.1 a	0.8 ab	0.9 ab	0.9 a	0.9 a
FACTOR B ⁴						
PRD	1.5 a	1.0 a	0.8 a	0.9 a	0.9 a	0.8 a
PCC	1.4 a	1.0 a	0.9 a	0.9 a	1.0 a	0.9 a
PCD	1.4 a	1.0 a	0.9 a	0.9 a	0.9 a	0.9 a
INTERACCION A*B		NS ⁵	NS	NS	NS	NS

¹Valores con diferente letra dentro de la columna y factor, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

²F1= Fecha de muestreo 1 (156 ddt); F2= Fecha de muestreo 2 (161 ddt); F3= Fecha de muestreo 3 (167 ddt); F4= Fecha de muestreo 4 (173 ddt); F5= Fecha de muestreo 5 (181 ddt) y F6= Fecha de muestreo 6 (188 ddt).

³Q= Sólo fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA; O1= Sólo fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O2= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA; Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA.

⁴PRD= Planta a raíz desnuda; PCC= Planta en cepellón conectada y PCD= Planta en cepellón desconectada.

⁵ NS= No significativo y S= Significativo.

En la Figura 6, se observa el efecto que tienen los tipos de fertilización en planta sobre la variable acidez titulable a través del tiempo, teniendo que los frutos cosechados a los 156 ddt (F1), mostraron mayor concentración de ácidos orgánicos con un valor de 1.44 % Ac. Cítrico; sin embargo, conforme avanzan los días de cosecha esta acidez disminuye significativamente, incluso en el último corte (188 ddt) se presentan frutos con cantidades mínimas de ácidos, alcanzando

un promedio de 0.88 % Ac. Cítrico. La relación SST/AT nos indica de manera subjetiva el sabor de los frutos, ya que el sabor de cualquier fruto está dado por el contenido de azúcares presentes y sus ácidos orgánicos.

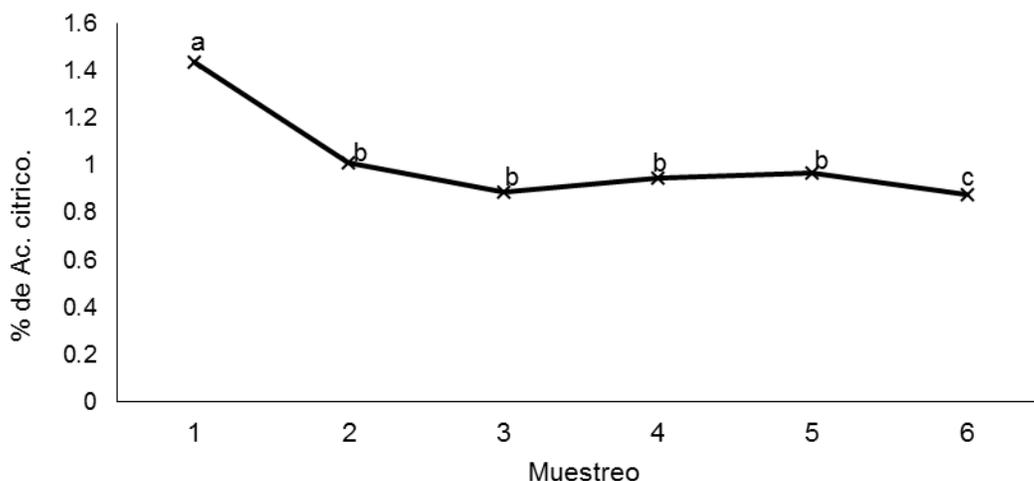


Figura 6. Porcentaje de ácido cítrico en frutos de fresa con diferentes tratamientos de fertilización en las distintas fechas de muestreo.

4.7. Vitamina C

La concentración de vitamina C depende de varios factores que se presentan tanto antes como después de la cosecha, así como de las características genóticas (Weston y Barth, 1997). En el Cuadro 12, se observa, en general que los tipos de fertilización no tuvieron efecto en la concentración de vitamina C en los frutos de fresa. Sin embargo, en el muestreo 1, las plantas con solamente fertilización química, resultan con frutos cuya concentración de vitamina C ($56.0 \text{ mg } 100 \text{ g fruta}^{-1}$) es alta. Adicionalmente, los frutos provenientes de la fecha 1 (156 ddt) tienen mayor concentración de vitamina C ($44.7 \text{ mg } 100 \text{ g fruta}^{-1}$), mientras que aquellos cosechados de la fecha 6, tienen la menor concentración ($21.11 \text{ mg } 100 \text{ g fruta}^{-1}$). También se puede observar que en el muestreo 4, planta con cepellón conectado (PCC), dio frutos con la más alta concentración de vitamina C ($29.9 \text{ mg } 100 \text{ g fruta}^{-1}$). La interacción entre los factores (A*B), se observa que la fecha 2 de muestreo es la que presentó significancia.

Cuadro 12. Efecto de los tipos de fertilización y el tipo de planta en vivero sobre la concentración de vitamina C (mg 100 g fruta⁻¹) en frutos, en las fechas de muestreo.

FACTOR A ³	FECHAS DE MUESTREO					
	F1 ²	F2	F3	F4	F5	F6
Q	56.0 a ¹	35.7 a	26.0 a	29.7 a	29.8 a	21.2 a
Q-O 1	49.3 ab	34.5 a	25.9 a	29.2 a	29.7 a	22.4 a
O1	47.6 b	35.2 a	26.0 a	29.2 a	28.5 a	20.7 a
Q-O 2	50.6 ab	33.5 a	26.3 a	30.0 a	30.0 a	22.2 a
O 2	48.0 b	32.2 a	25.7 a	29.0 a	28.4 a	20.5 a
Q-M 3	43.7 b	33.9 a	24.7 a	26.5 a	31.3 a	22.5 a
FACTOR B ⁴						
PRD	44.7 a	33.1 a	24.5 a	24.5 b	27.1 a	21.3 a
PCC	49.4 a	29.9 a	24.5 a	29.9 a	29.9 a	21.1 a
PCD	44.7 a	29.9 a	24.5 a	27.1 ab	27.1 a	20.9 a
INTERACCION A*B	NS ⁵	S	NS	NS	NS	NS

¹Valores con diferente letra dentro de la columna y factor, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

²F1= Fecha de muestreo 1 (156 ddt); F2= Fecha de muestreo 2 (161 ddt); F3= Fecha de muestreo 3 (167 ddt); F4= Fecha de muestreo 4 (173 ddt); F5= Fecha de muestreo 5 (181 ddt) y F6= Fecha de muestreo 6 (188 ddt).

³Q= Sólo fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA; O 1= Sólo fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O 2= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA; Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA.

⁴PRD= Planta a raíz desnuda; PCC= Planta en cepellón conectada y PCD= Planta en cepellón desconectada.

⁵ NS= No significativo y S= Significativo.

En la Figura 7, se observa el comportamiento de la concentración promedio de vitamina C y la temperatura a lo largo del tiempo en donde se realizaron los muestreos; los frutos cosechados durante las temperaturas más altas (fechas 6) son los que en promedio presentaron la menor concentración con un valor de 21.11 mg 100 g fruta⁻¹.

La pérdida de ácido ascórbico durante el periodo de evaluación en los muestreos realizados, está relacionada con un efecto de oxidación del ácido ascórbico para formar ácido mono dehidroascórbico, entre otros productos, este cambio provoca pérdida en la actividad biológica de la vitamina C, siendo los principales factores de este cambio, la concentración de oxígeno en el ambiente, pH y la temperatura (Beltz, 1997), además del grado de madurez de los frutos.

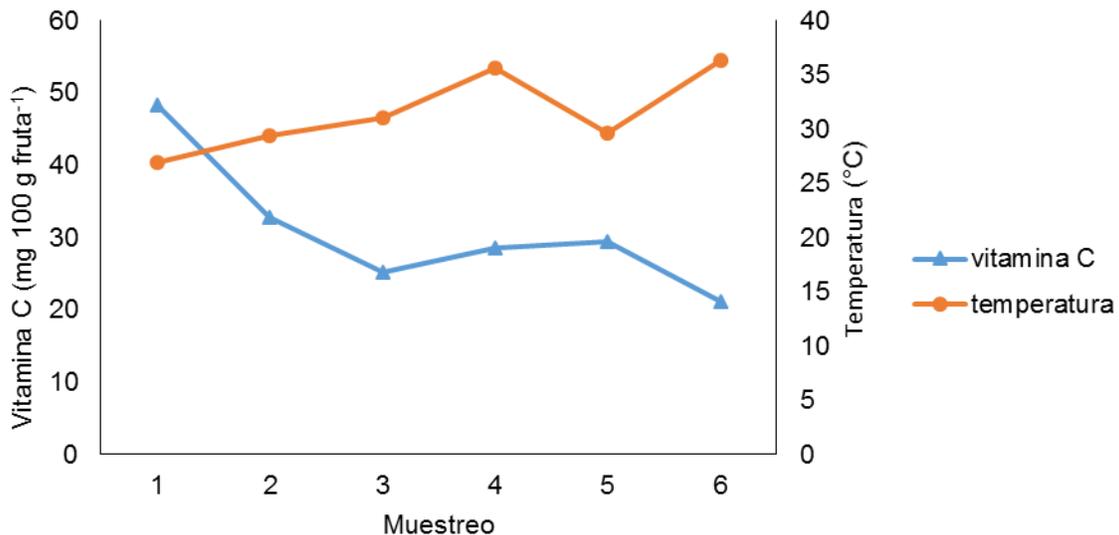


Figura 7. Promedio de la concentración de vitamina C (mg 100 g fruta⁻¹) de los tratamientos de fertilización en correlación con las temperaturas del día del muestreo.

En frutos de fresa, la concentración de vitamina C presumiblemente varía en función del cultivar, sin embargo, Cordenunsi *et al.* (2002), reportan un valor de contenido de ácido ascórbico de 60 a 100 mg g fruta⁻¹ en seis variedades de fresa, sugiriendo que quizá la suposición anterior no se sostiene en todos los casos. Por otro lado, Lee y Kader (2000), indican que el contenido de vitamina C en frutas y vegetales depende además del cultivar, de otros factores tales como prácticas culturales y condiciones climáticas, etapa de madurez, métodos de cosecha y manejo postcosecha. Lo anterior coincide con lo reportado por Nunes *et al.* (1995), quienes mencionan que la tasa de degradación del ácido ascórbico depende de varios factores, entre los que destacan temperatura, agua y pH, indicando que, si estos factores se encuentran en exceso, las concentraciones de ácido ascórbico irán en decadencia, resultados que coinciden con los observados en este experimento, es decir, como se mencionó arriba, cuando la temperatura aumenta la concentración de vitamina C, en promedio, disminuye (Figura 5).

4.8. Calidad del fruto

La calidad de los frutos de fresa se rige por diversas normas, sin embargo, en este caso, los frutos fueron clasificados de acuerdo con a la norma de los Estados Unidos (USDA, 1997). El Cuadro 13, muestra el efecto que tiene los tipos de fertilización en la calidad del fruto de fresa; la fertilización química más orgánica con 15 g de HMA (Q-O 2), resultó con frutos de mayor calidad, de acuerdo con la clasificación utilizada. Las plantas con sólo fertilización orgánica más 10 g de HMA (O 1), fueron las que presentaron los frutos con menor calidad durante las seis fechas de muestreo.

Cuadro 13. Clasificación de los frutos de fresa en los diferentes tipos de fertilización.

FACTOR A ²	FECHAS DE MUESTREO					
	F1 ¹	F2	F3	F4	F5	F6
Q	3	2	2	3	2	2
Q-O 1	3	2	3	2	2	1
O1	3	3	3	3	2	2
Q-O 2	3	2	2	2	1	1
O 2	3	3	3	2	2	2
Q-M 3	3	3	2	2	3	2

¹F1= Fecha de muestreo 1 (156 ddt); F2= Fecha de muestreo 2 (161 ddt); F3= Fecha de muestreo 3 (167 ddt); F4= Fecha de muestreo 4 (173 ddt); F5= Fecha de muestreo 5 (181 ddt) y F6= Fecha de muestreo 6 (188 ddt).

²Q= Sólo fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA; O 1= Sólo fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O 2= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA; Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA.

Estos resultados indican, que las plantas con solo fertilización orgánica no satisfacen los requerimientos nutricionales para el desarrollo de frutos, resultados que coinciden con lo reportado por Romero-Romano *et al.* (2012), quienes mencionan que una fertilización cien por ciento orgánica es insuficiente para cubrir los requerimientos en la producción de estolones y frutos en plantas de fresa. La utilización de abonos orgánicos es fundamental para aumentar la materia orgánica del suelo, la disponibilidad de nutrientes y mejorar el aprovechamiento de los

fertilizantes químicos; es por ello, que, una fertilización, combinando ambas fuentes de nutrientes, tiende a tener buenos resultados en el crecimiento y desarrollo de la planta, así como en la calidad de sus frutos (Arancon *et al.*, 2006).

4.9. Porcentaje de colonización micorrízica en raíces

Los múltiples beneficios que los HMA aportan a las plantas, tales como la mejor adquisición de nutrimentos y de agua (Auge, 2004) y el control de patógenos (Whipps, 2004), se han demostrado en diversos trabajos de investigación. Por otro lado, se ha reportado el efecto positivo de la adición del hongo sobre el crecimiento, rendimiento y contenido de minerales de diferentes cultivos (Azarmí *et al.*, 2008; Arancon *et al.*, 2003).

En el Cuadro 14, se observa que el Factor A (tipo de fertilización), sí influye en el porcentaje de colonización micorrízica, donde las plantas que reciben la combinación de fertilización química, más orgánica con 15 g de inóculo de micorriza (Q-O 2) son las que presentaron el mayor valor de 38.35 % de CT (colonización total). Por otra parte, la combinación de fertilización química con 20 g de HMA, fue la que presentó el menor porcentaje de colonización (14.47 % de CT).

Koide y Li (1990), también observaron que la colonización micorrízica se redujo significativamente en plantas teniendo un alto nivel de fósforo; el nivel de P de la planta es influenciado por el nivel de P del suelo (Liu *et al.*, 2000). El mecanismo por el cual el P regula la colonización micorrízica aún no es bien comprendido, pero de acuerdo con Bruce *et al.* (1994), la baja formación de micorriza a altas dosis de P puede ser el resultado de un reducido crecimiento de la tasa de unidades de infección y una producción limitada de hifas externas secundarias (Guttay, 1983). Por lo tanto, por los resultados obtenidos, se establece que la cantidad de inóculo igual a 15 g por planta, es eficiente para obtener resultados deseables en el porcentaje de colonización total, así como para las variables de calidad del fruto.

El establecimiento (colonización) de los HMA bajo condiciones de hidroponía están determinado por diversas condiciones, tales como: Factores físico-químicos

del sustrato (pH, temperatura, aireación, textura y contenido de materia orgánica), condiciones ambientales (intensidad y duración de la luz, temperaturas y humedad,) y por las prácticas agronómicas (aplicación de pesticidas y prácticas culturales). Los hongos formadores de micorrizas arbusculares tienen amplia capacidad de adaptación, sin embargo, como todo microorganismo tiene sus óptimos de crecimiento (Alloush *et al.*, 2000).

Cuadro 14. Porcentaje de colonización total en los diferentes tipos de fertilización en los que se agregó inóculo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA).

FACTOR A ²	Colonización total (%)
Q	SI ²
Q-O 1	16.09 cd ¹
O1	19.06 c
Q-O 2	38.35 a
O 2	25.81 b
Q-M 3	14.47 d

¹Valores con la misma letra dentro de la columna no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

²SI= sin inóculo de HMA.

³Q= Sólo fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA; O 1= Sólo fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O 2= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA y Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA.

4.10. Concentración de nitrógeno total

La concentración de nitrógeno en los cuatro órganos muestreados, presentó diferencias en los tipos de fertilización que se utilizaron a los 195 ddt, de tal manera, que fue en la raíz de las plantas con solo fertilización orgánica más 15 g de HMA (O 2), en donde se encontraron los niveles más altos (14.65 mg g⁻¹ de MS). Los frutos del tratamiento químico y orgánico con 20 g de HMA resultaron con valores más bajos MS, en promedio 2.30 mg (Cuadro 14). Al respecto, Thomson *et al.* (1986), indicaron que los hongos micorrízicos difieren en su sensibilidad a los niveles de P en el suelo o en la planta, motivo por el cual la fertilización puede alterar la eficiencia o función de los hongos micorrízicos en la absorción de nutrientes, como es el caso de nitrógeno (Thingstrup *et al.*, 2000).

El hecho de que la raíz fue el órgano con más nitrógeno, pudo deberse a que posee la mayor cantidad de biomasa, sin olvidar además, que una de las

funciones de este órgano es la de reserva (Vinicio, 2002). La cantidad de nutrimentos en la planta depende de los procesos que se llevan a cabo en el suelo, lo que implica que cuando la disponibilidad excede a la demanda, varios procesos actúan para evitar dicho exceso (Salas, 2002). Por su parte, Wang y Lin (2002) mencionan que el uso de compostas en el cultivo de fresa incrementa el contenido de nitrógeno en fruto.

El uso de micorrizas favorece la absorción de nutrientes y agua, al estar en contacto, a través del micelio externo del hongo, con mayor volumen del suelo (Guerrero *et al.*, 1996). *Funneliformis mosseae* el hongo micorrízico utilizado en la presente investigación, no solo favorece la absorción de iones poco móviles en el suelo como fosfatos, sino que acerca otros iones de zonas más lejanas hacia la raíz para su absorción (Cooper, 1984).

De acuerdo con Hancock (1999), los rangos de suficiencia de N oscilan entre 19 mg g⁻¹ de MS para considerarse deficientes, para suficiente de 20 a 28 mg g⁻¹ y de 40 mg g⁻¹ de MS para considerarse en exceso.

Cuadro 14. Concentración de nitrógeno en los órganos de la planta expresada en mg g⁻¹ de materia seca en diferentes tipos de fertilización.

FACTOR A ²	ÓRGANO MUESTREADO			
	HOJA	PECIOLO	RAÍZ	FRUTO
Q	3.25 a ¹	2.63 a	14.00 ab	2.30 b
Q-O 1	2.88 c	2.61 a	12.63 ab	2.52 ab
O1	3.28 a	2.41 a	1.00 b	2.75 a
Q-O 2	2.94 c	2.53 a	12.99 ab	2.56 ab
O 2	3.21 ab	2.58 a	14.65 a	2.70 a
Q-M 3	3.09 b	2.42 a	11.18 b	2.30 b

¹Valores con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

²Q= Sólo fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA; O 1= Sólo fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O 2= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA y Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA.

4.11. Concentración de fósforo total

En el Cuadro 15 se observa que el órgano con mayor concentración de fósforo fue la hoja, no hay diferencia entre los tipos de fertilización evaluados, las plantas que fueron fertilizadas con la combinación química más orgánica con 15 g

de inoculo de micorriza (Q-O 2), tuvieron la mayor concentración con un valor de 9.01 mg g⁻¹ de MS. El siguiente órgano con más fósforo es el fruto. En el caso del peciolo, la fertilización orgánica con 15 g de HMA, resulta con la concentración más alta, con un valor de 2.48 mg g⁻¹ de MS, diferente a los otros tipos de fertilización evaluados; y, por último, la raíz resultó el órgano con menor concentración de fósforo.

Cuadro 15. Concentración de fósforo en cuatro órganos de plantas de fresa expresada en mg g⁻¹ de materia seca en diferentes tipos de fertilización.

FACTOR A ²	ÓRGANO MUESTREADO			
	HOJA	PECIOLO	RAIZ	FRUTO
Q	6.10 a ¹	0.41 b	0.85 a	1.07 a
Q-O 1	7.41 a	0.80 ab	1.34 a	0.78 a
O1	7.01 a	0.42 b	0.96 a	1.50 a
Q-O 2	9.01 a	1.69 ab	0.68 a	0.66 a
O 2	8.13 a	2.48 a	1.58 a	2.34 a
Q-M 3	6.22 a	0.94 ab	1.24 a	1.09 a

¹Valores con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

²Q= Sólo fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA; O 1= Sólo fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O 2= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA y Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA.

Según Tagliavini *at al.* (2005), los frutos de fresa son los órganos con mayor contenido de fósforo, seguidos de las hojas, el peciolo y la raíz, sin embargo, en esta investigación, el orden fue diferente. La concentración de fósforo en hojas se utiliza como indicador nutricional en el cultivo de fresa (Macarthur, 2004). Hancock (1999), menciona que una concentración baja de este elemento, oscila entre 2 mg g⁻¹ de MS, el nivel suficiente varía de 25 a 40 mg g⁻¹ de MS, mientras que un exceso se da con valores superiores de 50 mg g⁻¹ de MS, según estos valores, la concentración de todos los órganos, para todos los tipos de fertilización utilizados en el presente trabajo, están por debajo del óptimo.

4.12. Concentración de potasio

El potasio es absorbido en mayor cantidad por las plantas; por lo tanto, su concentración sobrepasa considerablemente al de los otros cationes (Nestby *et al.*, 2005). En el Cuadro 16 se observa que el tipo de fertilización impacta

directamente en la concentración de potasio, observando diferencias significativas; la fertilización química más 20 g de inóculo de micorriza (Q-M 3), fue la que generó mayor concentración de K en las hojas, peciolo y fruto, con valores de 104.94, 4.94 y 5.15 mg g⁻¹ de MS respectivamente. La raíz fue el órgano que presentó la concentración más baja, y las raíces de las plantas con solo fertilización química, las que resultaron con mayor concentración, 2.3 mg g⁻¹ de MS. Tagliavini *et al.* (2005), observaron que los órganos con mayor acumulación de potasio fueron los frutos, después las hojas, el peciolo, la corona y la raíz; concretamente, Chow *et al.* (1992), encontraron que el órgano con mayor concentración del elemento fue el tallo, seguido por las hojas, el fruto, la raíz y la flor; de cualquier forma, no concuerdan con los resultados observados en esta investigación.

Benton *et al.* (1991), mencionaron que los valores deficientes se alcanzan de 10 a 12.9 mg g⁻¹ de MS, el suficiente de 13 a 30 mg g⁻¹ de MS, alto, mayor de 30 mg g⁻¹ de MS; de acuerdo con este autor, en el presente estudio, las concentraciones en el peciolo, raíz, y fruto se categorizaron como insuficientes, mientras que aquella en hojas presentó un exceso.

Cuadro 16. Concentración de potasio en cuatro órganos de plantas de fresa expresada en mg g⁻¹ de materia seca en diferentes tipos de fertilización.

FACTOR A ²	ÓRGANO MUESTREADO			
	HOJA	PECIOLO	RAÍZ	FRUTO
Q	38.45 c ¹	3.97 c	2.3 a	4.64 f
Q-O 1	43.11 c	4.44 bc	2.52 ab	4.79 e
O1	69.31 b	4.64 ab	2.75 a	4.93 d
Q-O 2	82.04 b	4.78 ab	2.56 ab	5.04 b
O 2	84.31 b	4.73 ab	2.70 a	4.99 c
Q-M 3	104.94 a	4.94 a	2.30 b	5.16 a

¹Valores con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

²Q= Sólo fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA; O 1= Sólo fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O 2= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA y Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA.

4.13. Concentración de Calcio

La concentración de calcio fue diferente para cada uno de los órganos evaluados, siendo el peciolo y fruto de la fertilización química con 20 g de HMA (Q-M 3), donde se encontraron diferencias significativas con valores de 2.64 y 2.96 mg g⁻¹ de MS. La raíz es el órgano que presentó la mayor concentración (11.97 mg g⁻¹ de MS), sin embargo, no hay diferencias significativas en cuanto a tipo de fertilización; los valores fluctúan entre 1.31 mg g⁻¹ de MS hasta 11.97 mg g⁻¹ de MS, considerando todos los órganos, como se muestra en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Concentración de calcio en cuatro órganos de plantas de fresa expresada en mg g⁻¹ de materia seca en diferentes tipos de fertilización.

FACTOR A ²	ÓRGANO MUESTREADO			
	HOJA	PECIOLO	RAÍZ	FRUTO
Q	1.60 a ¹	1.31 c	6.78 a	2.06 c
Q-O 1	1.58 a	2.09 b	7.29 a	2.41 bc
O1	1.59 a	2.16 b	7.02 a	2.46 b
Q-O 2	1.59 a	2.32 ab	11.97 a	2.77 ab
O 2	1.37 a	2.28 b	10.60 a	2.46 ab
Q-M 3	1.56 a	2.64 a	7.77 a	2.96 a

¹Valores con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

²Q= Solo fertilización química; Q-O 1= Fertilización química más orgánica con 10 g de HMA; O1= Solo fertilización orgánica con 10 g de HMA; Q-O 2= Fertilización química más orgánica con 15 g de HMA; O2= Solo fertilización orgánica con 15 g de HMA y Q-M 3= Fertilización química con 20 g de HMA.

Resultados obtenidos por Molina *et al.* (1993), muestran que la concentración de calcio en plantas de fresa, varía de acuerdo con la etapa de desarrollo de la planta, alrededor de la semana 28 (196 ddt) se tienen concentraciones de 4.7 mg g⁻¹ de MS hasta de 17.2 mg g⁻¹ de MS, datos que pueden variar de acuerdo con el cultivar.

El calcio activa la elongación y multiplicación en los tejidos meristemáticos, por lo tanto, si se suspende la aplicación de calcio vía foliar se detiene en crecimiento de la raíz; en general el calcio ejerce una reacción favorable sobre el crecimiento radical y es necesario para germinación y el crecimiento del tubo polínico (Alcántar y Trejo, 2007). El calcio es necesario en todo el ciclo de crecimiento de la planta

de fresa, sin embargo, en las etapas de intensa división celular es cuando su concentración se incrementa.

El rango de suficiencia de Ca en plantas de fresa para considerarse deficiente oscila entre 5 mg g⁻¹ de MS, se considera suficiente de 7 a 17 mg g⁻¹ de MS y como exceso 20 mg g⁻¹ de MS.

5. CONCLUSIONES

De los dos factores estudiados, el origen de la planta en vivero resultó significativo para el inicio de floración; las plantas de cepellón que crece conectada a su planta madre durante el establecimiento, las que adelantan la floración en la variedad Zamorana de fresa; el tipo de fertilización con la combinación química más orgánica con 15 g de inóculo de micorriza (Q-O 2), presentó significancia para, peso promedio de fruto y calidad de los frutos.

La calidad de los frutos de fresa fue regulada por el tipo de fertilización. Fue la combinación de fertilizante químico más orgánico con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en sus diferentes concentraciones, las que presentaron los frutos con mayor porcentaje de sólidos solubles totales (SST), firmeza, contenido de vitamina C y calidad, así como menor porcentaje de ácido cítrico.

La aplicación de composta de caprino favorece el porcentaje de colonización total, encontrando un efecto sinérgico en todas las variables estudiadas.

El nitrógeno (N) y fósforo (P) se favorecieron por la fertilización orgánica, donde la mayor concentración fue en raíces y peciolo.

El potasio (K) se encontró en mayor concentración en hojas, peciolo y frutos, para el tratamiento químico más 20 g de inóculo de micorriza.

El calcio (Ca) fue influenciado por la fertilización química con 20 g de HMA (Q-M 3), siendo el peciolo y el fruto los que presentaron significancia.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Agusti, M. 2004. Citricultura. Mundi-Prensa, Madrid España.
- Aguilera-Gómez L., F. T. Jr. Davies, S. A. Duray, L. Phavaphutanon, y V. OlaldePortugal. 1999. Influence of phosphorus and endomycorrhiza (*Glomus intraradices*) on gas Exchange and plant growth of chile ancho pepper (*Capsicum annum* cv. San Luis) *Photosynthetica*. República Checa. 441-449.
- Aitken J.B. y T.L. Senn. 1965. Seaweed products as a fertilizer and soil conditioner for horticultural crops. *Bot. Mar.* 8: 144-148.
- Alcántar G. G. y L. Trejo. 2007. Nutrición de cultivos. Mundi prensa – Colegio de Postgraduados. Mexico, D.F.
- Allen, M. F. 2011. Linking water and nutrients through the vadose zone: a Fungal interface between the soil and plant systems: linking water and nutrients through the vadose zone: a fungal interface between the soil and plant systems. *J. Arid Land.* 3: 155–163.
- Alloush G. A., S. K. Zeto and R. B. Clark. 2000. Phosphorus source organic matter and arbuscular mycorrhizal effects on growth and mineral acquisition of chickpea grow acidic soil. *J Plant nutr.* 23(9):1351-1369.
- Alvarado H., M. Tavera, G. Mena, G. Calderón, R. López y E. Salinas. 2014. Crecimiento y producción de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en sustratos a base de compostas In: Desarrollo sustentable y finanzas. Tavera, M.E., J. Quintanilla, G.R. Chaparro y F. Iglesias (eds). Ecorfan, Bolivia. pp: 50-63
- Almaguer V. G. 1998. Fruticultura General. Mundi-Prensa. Tercera Edición. México, D.F.
- Angulo R. 2009. Fresa *Fragaria ananassa*. Bayer CropScience S. A. Colombia. 48.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Vol II. Association of Official Analytical Chemistries, Washington, D.C. pp: 918-919.
- Arancon N. Q., S. Lee, C. A. Edwards and R. M. Atiyeh. 2003. Effects of humic acids and aqueous extracts derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse plant. *Pedobiologia (Jena)* 47:744-781.
- Arancon N., C. Edwards and P. Bierman. 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: effects on soil microbial and chemical properties. *Bioresource Technology* 97: 831–840.

- Armenta-Bojorquez, A., C. García-Gutierrez, J. Camacho-Báez, M. Apodaca-Sánchez, L. Gerardo-Montolla y E. Nava-Pérez. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*. 6 (1): 51-56.
- Atkinson D., G. Berta and J. F. Hooker. 1994. Impact of Mycorrhizal colonization on root architecture root longevity and the formation of growth regulation, p. 93 *in: Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems*. S. Gianinazzi; H. Schuepp. (eds). Birkhauser, Alemania.
- Azarmi R., M. T. Giglou and R. D. Taleshmikail. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. *African Journal of Biotechnology*. 7:2397-2401.
- Atiyeh R., S. Lee, C. A. Edwards, N. Q. Arancon and J. D. Metzger. 2002. The influence of acid humics derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Tecnology*. 84: 7-14.
- Augé R. M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Can. J. Soil Sci*. 84: 373–381.
- Augé R. M., H. D. Toler and A. M. Saxton. 2015. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza* 25:13–24.
- Avigdor-Avidov H. 1986. Strawberry. In: MONSELISE, S.P. (ed.). *Fruit Set and Development*. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp: 419-448.
- Balestrini R., E. Lumini, R. Borriello and V. Bianciotto. 2015. “Plant-soil biota interactions,” in *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*, ed E. A. Paul. Elsevier. 311–338.
- Basoccu L. 1972. Effects of inicial size on yield in several strawberry cultivars. *Rivista delta ortoflorofruticultura*. 56, 52-60. Ref. Hort. Abstr. 1973, n.º 543.
- Bastida A. 1999. *El Medio de Cultivo de las Plantas. Sustratos para Hidroponía y Producción de Plantas Ornamentales*. Serie de publicaciones AGRIBOT No. 4 UACH. Preparatoria Agrícola, Chapingo, Mex. 72.
- Beltz W. G. 1997. *Química de los alimentos*. Editorial ACRIBIA, Zaragoza, España. 567 pp
- Benacchio S. S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nal. de Inv. Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202.
- Benton J. F., B. Wolf. and H. Mills. 1991. *Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Athens, Georgia: Micro-Macro Publishing, 1991.
- Blaine M., W. J. Zimmerman, I. Crouch and J. van Staden. 1990. Agronomic uses of seaweed and microalgae. pp. 267-307. In: Akatuska I. *Introduction to applied phycology*. SPB Academic Publishing BV, The Hague, The Netherlands.
- Blanco F. and E. Salas. 1997. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 21(1): 55-67.

- Blunden G. 1973. Effects of liquid seaweed extracts as fertilizers. Proc. Seventh International Seaweed Symposium. In ref. 3. School of Pharmacy, Polytecnic, Park Road, Portsmouth, Hants, England.
- Bollo E. 1999. Lombricultura: una alternativa de reciclaje. Ecuador Soboc.149 p
- Bonilla Correa C. R. 2011. Cartillas del Corredor Tecnológico Cultivando su Futuro. Universidad Nacional de Colombia, Corredor Tecnológico Agroindustrial; Bogotá.
- Brown G. G., I. Barois and P. Lavelle. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edafic functional domains. Europe Journal of Soil Biology. 36: 177-198.
- Bruce A., S. E. Smith and M. Tester. 1994. The development of mycorrhizal infection in cucumber: Effects of P supply on root growth, formation of entry points and growth of infection units. New Phytol. 127: 507-514.
- Bunt A. 1988. Media and mixes for container grown plants. Boston: Unwin Hyman. 309.
- Cabrera R. I. 1995. Fundamentals of container media management, Part. 1. Physical prperties. Rutgers Cooperative Extension Factsheet. 950: 4.
- Calderón Z. G., A. J. Rodríguez, M. O. Carrillo, Ch. M. Lara y R. Vega del R. 2009. CP Zamorana y CP Jacona, dos nuevas variedades de fresa para el subtrópico. 55 Reunión Anual de la Sociedad Interamericana para la Horticultura Tropical. Barquisimeto, Venezuela. 12-16 Oct. 2009. p 9.
- Campbell C. R., and G. S. Miner. 1998. Nutrient management for strawberry production. *In*: Strawberry plasticulture notebook: a guide to strawberry plasticulture production. N.C. Strawberry Association, Pittsboro.
- Campos-Motá L., G. A. Baca-Castillo, D. Jaén-Contreras, A. Muratalla-Lúa, y R. Acosta-Hernández. 2004. Fertirrigation and mycorrhiza in red raspberry cultured on tepetate. *Agrociencia*. 38(1):75-83.
- Capistrán F., E. Aranda y J. C. Romero. 2001. Manual de Reciclaje, Compostaje y Lombricompostaje. Ver. México. Instituto de Ecología. A. C. Xalapa
- Castellanos-Ramos J. Z., J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelo y aguas. INCAPA. México, D. F.
- Castellanos J. Z. 2016. El Tezontle como Sustrato. Conferencia del Diplomado Internacional en Horticultura Protegida. Intagri-UAI.
- Castellanos, J. Z. 1982. Estudio sobre la producción, utilización y características de los estiércoles en la Comarca Lagunera. En: Castellanos y Reyes (Eds). Memorias del primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre la Utilización del Estiércol en la Agricultura. Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey, A.C. Torreón, Coahuila. 15.
- Castillo E. A., H. S. Quarín y C. M. Iglesias. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaboradas a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura Técnica (Chile)* 60: 74-79.
- Castro F. J. y G. P. Dávalos. 1990. Etiología de la "secadera" o pudrición de la raíz y corona de la fresa en Irapuato, Guanajuato. *Revista Mexicana de Fitopatología* 8:80-86.
- Castro I. 2009. Análisis de la estructura y diversidad de las comunidades de hongos formadores de micorrizas asociados a plantas de interés ecológico

- en ambientes mediterráneos. Tesis Doctoral. Universidad de ^[L]_[SEP]Granada, Granada, España.
- Cekic C. and E. Yilmaz. 2011. Effect of arbuscular mycorrhiza and different doses of phosphor on vegetative and generative components of strawberries applied with different phosphor doses in soilless culture. *African Journal of Agriculture Research*. 6(20): 4736-4739.
- Cenid-Raspa. 2003. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación-Agua-Suelo-Planta-Atmosfera. Agricultura protegida. Libros Técnico No. 1. Gómez Palacio, Dgo., México INIFAP.
- Charron G., V. Furlan, M. Bernier-Cardou and G. Doyon. 2001. Response of onion plants to arbuscular mycorrhizae. Effects of inoculation method and phosphorus fertilization on biomass and bulb firmness. *Mycorrhiza* 11:187–197.
- Chávez M. C. G. and R. Ferrera-Cerrato. 1990. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizae on tissue cultura-derived plantlets of strawberry. *Hort. Sci.* 25: 903-905.
- Chercuitte L., J. A. Sullivan, Y. D. DesjardinS, and R. Bedard. 1991. Yield potential and vegetative growth of summer-planted strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116: 930-936.
- Chow K., T.V. Prince. and B.C. Hanger. 1992. Nutrition requirements for groth and yield of strawberry in deep flow hydroponic system. *Scientia Horticulturae* 52: 95-104.
- CONAFRE (Comision Nacional de la Fresa A.C.). 2012. Sistema producto fresa. Consultado en: <https://expofresamexico.com/conafre-a-c/> el 24/03/18.
- Contreras F., J. Paolini, y C. Rivero. 2005. Efecto de la adición de enmiendas orgánicas sobre la cinética de la mineralización del carbono en suelos. *Rev. Fac. Agron. Aragua, Venezuela* 31:37-52.
- Cooke G. W. 1959. Field experimets on phosfate fertilizers: A joint investigation. *J. Agr. Sci.*, 48:74-103.
- Cooper K. M. (1984). Physiology of VA mycorrhizal associations. En: V.A. Florida, 155-203.
- Cordenunsi B. R., J. R. Oliveira Do Nascimento, M. I. Genovese and F. M. Lajolo. 2002. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. *J. Agric. Food Chemistry* 50(9): 2581-2586.
- Cornejo P., J. Pérez-Tienda, S. Meier, A. Valderas, F. Borie and C. Azcón-Aguilar. 2013. Copper compartmentalization in spores as a survival strategy of arbuscular mycorrhizal fungi in Cu-polluted environments. *Soil Biol. Biochem.* 57: 925–928.
- Crouch I., R. Beckett and J. V. Staden. 1990. Effect of seaweed concentrate on the growth and mineral nutrition of nutrient stressed lettuce. *Journal of Applied Physiology*, 2, 269–272.
- Crouch L. and J. van Staden. 1992. Evidence of the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. Department of Botany, University of Natal, Republic of South Africa. Ed. Kluwer Academic Publishing. The Netherlands.

- Cruz De Matos O. 2000. Uso de sustancias naturais de origen vegetal com actividade biológico na proteccao das cultural agrícolas. *Agronomía Lusitana*. 48 (Suplemento 2) 1-44.
- Da Silva J. y E. Cardoso. 2007. Micorriza arbuscular em cupuaçu e pupunha cultivados em sistema agroforestal e em monocultivo na Amazonia Centrai, *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 41(5): 819-825.
- Darrow G. M. and G. F. Waldo. 1934. Responses of strawberry varieties and species to the duration of the daily light period. *U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 453*, 1–31.
- Dávalos González P. A., L. F. Díaz Espino, A. E. Jofre y Garfias. 2005. Memoria avances del cultivo de fresa. Memoria avances de investigación del cultivo de fresa. Demostración de campo en la localidad de la Cinta en Irapuato, Gto. 12 de mayo 2005. Segunda demostración del Proyecto 287/03 “Transferencia de Tecnología para incrementar la productividad y rentabilidad del cultivo de la fresa en Guanajuato”. Publicación Especial No. 1. Mayo 2005. CENGUA-INIFAP. CEBAJ-INIFAP.
- Dávalos González, P. A., L. A. Mariscal Amaro, R. Bújanos Muñiz, L. F. Díaz Espino y A. E. Jofre y Garfias. 2015. Tecnología de producción de fresa en el Estado de Guanajuato. INIFAP-CEBAJ-CENGUA. (En prensa).
- Dávalos G. P. 1992. Control de *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* con dosis bajas de Bromuro de metilo 98%. Memorias del XIX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Saltillo, Coahuila, México. Resumen, 89.
- Dávalos P. A., G. R. Aguilar, A. E. Jofre, A. R. Hernández y M. N. Vázquez. 2011. Tecnología para sembrar viveros de fresa. Ríos, S. A. (Ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 1ª (Ed.). Celaya, Guanajuato, México, D. F. 153 pp.
- Dell’Amico J., A. Torrecillas, P. Rodriguez, A. Morte, and M. J. Sánchez Blanco. 2002. Water and growth parameter responses of tomato plants associated with arbuscular mycorrhizae during drought and recovery. *EEUU. Journal of Agricultural Sciences* 138: 387-393.
- Di Benedetto A., J. Molinari and C. Boschi. 2000. Adaptación de cuatro especies florales anuales a diferentes substratos de crecimiento. *Agro sur* 28 (2): 69-76.
- Díaz-Espino L. F. 1986. Descripción de las Regularidades del Proceso de Lavado de Los Suelos Salinos. Colegio de Postgraduados Centro de Hidrociencias, Chapingo México.
- Díaz Espino L. F. 2016. Manejo Agronómico de Fresa. “Curso de Aprendizaje en el cultivo de fresa” Santiago Maravatío, Guanajuato. México.
- Díaz Espino L. F., P. A. Dávalos González, A. E. Jofre y Garfias y T. O. Martínez Martínez. 2017. Fresa, deficiencias y síntomas nutricionales.
- Domínguez J., C. A. Edwards and S. Sulber. 2004. A comparison of vermicomposting and composting. *Biocycle*. 38(4): 57-60.
- Durner E. F., E. B. Poling and J. L. Mass. 2002. Recent Advances in Strawberry Plug Transplant Technology. *HortTechnology*. 12:545-550 p.

- Eghball B., D. Ginting and J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96:442-447.
- Enríquez F., y G. Bernal. 2009. Evaluación de la efectividad de cuatro dosis de micorrizas arbusculares bajo cuatro niveles de fósforo en vivero de palmito (*Bactris gasipaes*, HBK), en la zona de Santo Domingo de los Colorados. *Eidos*, 1, 42-48.
- Ensminger L. E. 1950. Response of crops to various phosphate fertilizer. Alabama. *Agri., Exp. Sta. Bull. No. 270.*
- Estrada N. C. 2011. Caracterización Fisiológica y Productiva de Dos Variedades Mexicanas de Fresa (*Fragaria x ananassa*) para el Subtrópico. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. De México. 116 .
- Fan T., B. A. Stewart, W. A. Payne, Y. Wang, S. Song, J. Luo and C.A. Robinson. 2005. Supplemental irrigation and water- yield relationships for plasticulture crops in the loess plateau of China. *Agronomy Journal* 97(1): 177-188 p.
- Frederick W. C. 1994. From CSR1 to CSR2: The maturing of business-and-society thought. *Business & Society*, 33(2), 150-164
- FAOSTAT. 2017. Producción Mundial de fresa. www.fao.org (Consultado el 18 de mayo, 2017).
- Fox B. A. and A. G. Cameron. 1961. Food science, nutrition and health. Sixth Edition. Ed. Edward Arnold, a division of Hodder Headline PLC, London NW1 3BH.
- Galleta G. J. and R. S. Bringham. 1990. Strawberry management. In: Galleta, G. J and D. G. Himelrick. (eds.). *Small Fruit Crop Management*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, N.J., USA. 83-156.
- Garau A., S. F. de Delfino and G. Berrondo. 2000. Influencia de factores climáticos en las fechas de inicio de floración y brotación de clones de álamo en el Delta del Paraná, Argentina. *Forest Systems*, 9(1), 169-176 p.
- García, G. S. 2010. Cultivo de Tomate en Tezontle con Diferentes Diámetros de Partícula. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.
- Gariglio N. F., R. A. Pilatti, and B. L. Baldi. 2000. Using nitrogen balance to calculate fertilization in strawberries. *HortTechnology* 10 (1): 147-150.
- Given N. K., M. A. Venis and D. Grierson. 1988. Hormonal regulation of ripening in the strawberry, a non-climacteric fruit. *Planta* 174:402–406.
- Göhre V. and U. Paszkowski. 2006. Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. *Planta*. 223: 1115–1122.
- Gonzales-Chavez, M. C., R. Ferrera-Cerrato, A. Villegas-Monter y J. L. Oropeza. 2000. Selección de sustratos de crecimiento en microplantulas de cítricos inoculadas con *Glomus* sp. *Zac-19. Terra* 18: 369-378.
- Grainge M. and S. Ahmed. 1988. *Handbook of plants with pest-control properties*. John Wiley & Sons. New York, USA. 470 .
- Graham J. H. and D. Eissenstat. 1998. Field evidence for the carbon cost of citrus mycorrhizas. *New Phytol.* 140: 103-110.

- Guerra J. 2008. Efecto de biofertilizantes y abonos organicos en la producción de fresa (*Fragaria ananass x Duch.*). Tesis de maestría. Instituto Tecnológico Nacional. 66.
- Guerra B. E. 2008. Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Tecnología en Marcha*, 21(1), 191-201.
- Guerrero E., C. Azcon, J. Barea, B. Moyersen, C. Orozco, C. Cano, D. Mejía, J. Mayer, C. Rivillas y E. Rivera. 1996. Micorriza: fundamentos biológicos y estado del arte. En: Guerrero, E. (ed.). *Micorrizas: recurso biológico del suelo*. Fondo FEN Colombia, Bogotá. 208.
- Guevara Y., A. Maselli y M. Sánchez. 2000. Efecto de extractos vegetales sobre bacterias fitopatógenas. *Manejo Integrado de Plagas* 56:38-44.
- Gutiérrez C., R. Serwatow. N. Saldaña, J. M. Cabrera, A. Zavala, A. Saldaña y A. Juarez. 2009. Desarrollo de una tecnología para trasplante mecanizado de la fresa (*fragaria vesca*). Departamento de Ingeniería Agrícola, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Irapuato Gto.
- Guttay A. J. R. 1983. The interaction of fertilizers and vesiculararbuscular mycorrhizae in composted plant residues. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108: 222-224
- Guttridge C. G. and H. M. Anderson. 1975. The relationship between plant size and fruitfulness in strawberry in Scotland. *Horticulture Research* 13: 125-135.
- Guttridge C. G. and J. M. Turnbull. 1975. Improving anther dehiscence and pollen germination in strawberry with boric acid and salts of divalent cations. *Hort. Res.* 14: 73-79.
- Hakala M. R., T. R. Huopalahti and A. Lapveteläinen. 2002. Quality factors of finnish strawberries. *Acta Horticulturae* 567: 727–729.
- Hallidri M. 2001. Comparison of the different mulching materials on the growth, yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus L.*). *Acta Horticulturae (ISHI)* 559(2): 49-54.
- Hancock J. F. 1999. *Strawberries*. CAB International Publishing. New York, NY, USA. 237.
- Hart, J., T. Righetti, A. Sheets and L. W. Martin. 2000. *Strawberries. Fertilizer Guide Oregon State University*. Department of Agriculture and Oregon Counties, extension Service. Oregon, United States.
- Hashemimajd K., M. Kalbasi, A. Golchin and H. Shariatmadar. 2004. Comparison of vermicompost and compost as potting media for growth of tomatoes. *J. Plant Nutr.* 27: 1107-1123.
- Hatfield J. L. and J. H. Prueger. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes* (10): 4–10.
- Heide O. M. (1977). Photoperiod and temperature interactions in growth and flowering of strawberry. *Physiologica Plantarum*, 40, 21–6.
- Himelrick D. G. and G. J. Galletta. 1990. Factors that influence small fruit production. In: Galletta, G. J.; Himelrick, D. G. (eds.), *Small Fruit Crop Management*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., USA. AVIGDORI-

- AVIDOV, H. 1986. Strawberry. pp: 419-448. In: MONSELISE, S.P. (ed.). Fruit Set and Development. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp 14-23
- Hokanson S. C., F. Takeda, J. M. Enns, and B. L. Black. 2004. Influence of Plant Storage Duration on Strawberry Runner Tip Viability and Field Performance. *HortScience*. 39:1593-1600.
- Ingham R. E. 2005. 5ta ed. The compost tea Brewing Manual. Oregon. USA. Soil Foodweb Inc. Corvallis. 79.
- INIFAP. 2011. Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pesqueras. Tecnología para sembrar viveros de fresa.
- Jasmin J., N. Souza, N. Mendes y G. Dias. 2003. Production of ornamental-plantsupporting sticks from coconut fiber. *Investigación Agropecuaria y Desenvolvimiento Sustentable* 1 (2): 173 – 178.
- Jennings D. L. 1988. Raspberries and Blackberries: their Breeding Diseases and Growth. Academic Press Inc., 230.
- Jeong S.K., J. M. Choi, K. H. Cha, H. J. Chung, K. S. Choi and K. S. Seo. 2001. Dificiency symptoms, growth statistics and nutrient uptake of 'Nyoho' strawberry affected by controlled calcium concentration in fertilizer solution. *Korean: Soc. Hort. Sci.* 42(3):284-288.
- Johanson F. D. 1963. Nutrient deficiency symptoms. pp. 75-80. In: C.R. Smith and N.F. Childers (eds.). *The strawberry*. Rutgers the St. Univ., New Brunswick, NJ.
- Juárez M. M., S. Ruiloba de León, G. Chávez, C. Hernández y L. Villa .2011. Huitlacoche (corn smut), caused by the phytopathogenic fungus *Ustilago maydis*, as a functional food. *Rev. Iberoam. Micol.* 25:69-73.
- Kader A. A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. In: Michalezuk, L. (ed) *Proc. Intl. Symp. on effects of pre- and postharvest factors on storage of fruit*. *Acta Horticulturae* 485: 203–208.
- Kadir S., G. Sidhu, and K. Al-Khatib. 2006. Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) growth and productivity as affected by temperature. *HortScience*, 41(6), 1423-1430.
- Kaya C.H., D. Kirnak, D. Higgs and K. Saltali. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Horticulturae*, 93:65-74.
- Kessel A. 2012. "Mejora genética de la fresa (*Fragaria Ananassa* Duch.) a través de métodos biotecnológicos". *Revista Cultivos Tropicales*, núm. Julio-Septiembre, 34-41.
- Koide R. T. and M. Li. 1990. On host regulation of the vesiculararbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytol.* 114: 59-64.
- Kongsrud K. L. 1988. Nitrogengjødsling til jordbærsorten 'Bounty.' *Norsk Landbruksforskning* 2: 265-271.
- Kopanski K. and Z. Kawecki. 1994. Nitrogen fertilization and growth and cropping of strawberries in the conditions of Zlawy. III. Cropping and fruit chemical composition. *Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstenensis, Agricultura* (58): 135-142.
- Kronenberg H. G., L. M. Wassenaar and G. P. J. Van. 1976. Effect of temperature on dormancy in strawberry. *Scientia Horticulturae*, 4, 361–6.

- Lamarre M. and M. J. Lareau. 1997. Influence of nitrogen, potassium and magnesium fertilization on day-neutral strawberries in Quebec. *Acta Hort* 439:701-704 p.
- Landis T. 2000. Manual de Viveros para la producción de Especies Forestales en Contenedor. Contenedores y Medios de Crecimiento. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Oregon, E.U.A. 52.
- Landis T. D., R. W. Tinus, S. E. MacDonald, J. P. Barnett, R. G. Nisley, D. T. Rodríguez, R. V. Sánchez y R. B. Aldana. 2004. Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor. Dpto. de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. Portland, Oregon, USA. 192 p.
- Lee S. K. and A. A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biological Technology*. 20:207-220.
- Lemaire F. 1997. The problem of the biostability in organic substrates. *Acta Hort.* 450:63–69.
- Leskovar D. I. and P. J. Stoffella. 1995. Vegetable seedling root system: morphology, development, and importance. *HortScience*, 30: 1153-1159.
- Lieten F. 2000. Iron nutrition of strawberries grown in peat gags. *Small Fruits Review* 1 (2): 103-112.
- Lieten F., J. M. Kinet and G. Bernier. 1995. Effect of pro-longed cold storage on the production capacity of strawberry plants. *Scientia Horticulturae* 60: 213–219.
- Lineberry R. A. and L. Burkhart. 1943. Nutrient deficiencies in the strawberry leaf and fruit. P1. *Physiol.*, 18:324-333.
- Lingua G., C. Franchin, V. Todeschini, S. Castiglione, S. Biondi, B. Burlando, *et al.* 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi differentially affect the response to high zinc concentrations of two registered poplar clones. *Environ. Pollut.* 153: 137–147.
- Liu A., C. Hamel, R. I. Hamilton and D. L. Smith. 2000. Mycorrhiza formation and nutrient uptake of new corn (*Zea mays* L.) hybrids with extreme canopy and leaf architecture as influenced by soil N and P levels. *Plant Soil* 221: 157-166.
- López-Pérez L, R. Cárdenas, P. Lobit, O. Martínez, O. y O. Escalante. 2005. "Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía", en *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28(2):171-174.
- López, D. A., R. M. Williams, K. Miehlke and J. Mazana. 1995. *Enzimas, fuente de vida*. Fundación de Investigación Inmunológica (IERF), 1+822 Monticelo Place, Evanston, Illinois, USA. Ed. en español, Edika Med., S.L., Barcelona, España.
- Louws F. 2004. *Disease Management Consideration for Producing Strawberry Plug Plants*.
- Macarthur E. and L. Ullio. 2004. *Strawberry fertiliser guide*. NSW Agriculture, Agfact. Second edition.
- Mahler R. L. and Barney S. O. 2000. *Blueberries, Raspberries, and Strawberries*. Northern Idaho Fertilizer Guide. Cooperative Extension System. Agricultural Experiment Station; University of Idaho, Moscow, Idaho.
- Maroto J. V., S. A. López-Galarza, S. A. San Bautista Pas- López-galarza, S. A. San Bautista Pas y B. San Bautista Pascual. 1997. Cold stored and fresh

- multicrown strawberry plants for autumn-winter production in eastern Spain. *Acta Horticulturae* 439: 545-548.
- Martinez P. y M. Abad. 1992. "Soilless Culture of Tomato in Different Mineral Substrates, Soil & Soilless Media Under Protected Cultivation". *Acta Horticulturae*, n. 323.
- Maselli A., L. C. Rosales y Y. Guevara. 2006. Uso de extractos vegetales sobre *Xanthomonas phaseoli*, causante de la quemazón en *Phaseolus vulgaris*. L. *Revista Digital CENIAP HOY* N° 12. Maracay, Venezuela.
- Maselli, A., R. Méndez, J. García, G. Briceño, A. Solano, L. Alemán, L.C. Rosales y L. Velázquez. 2008. Evaluación de extractos vegetales para el control de bacterias fitopatógenas de los géneros *Xanthomonas* y *Erwinia*. *Fitosanidad* 12(3):164.
- McLean E. O. and M. E. Watson. 1985. Soil measurements of plant available potassium. 277-305. In: R.D. Munson. (ed). Potassium in agriculture. ASA.CSSA. SSSA. Madison, W.I.
- Meier S., P. Cornejo, P. Cartes, F. Borie, J. Medina and R. Azcón. 2015. Interactive effect between Cu-adapted arbuscular mycorrhizal fungi and biotreated agrowaste residue to improve the nutritional status of *Oenothera picensis* growing in Cu-polluted soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 178:126–135.
- Mena-Violante H. G y V. Olalde-Portugal. 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growthpromoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Scientia Horticulturae* 113: 103-106.
- Mendieta L. A. 2011. Distribución espacial de nutrientes en la solución del suelo para la producción intensiva de fresa. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 5.
- Miner G. S., E. B. Poling, D. E. Carroll, L. A. Nelson, and C. R. Campbell. 1997. Influence of fall nitrogen and spring nitrogen-potassium applications on yield and fruit quality of 'Chandler' strawberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122 (2): 290-295.
- Minolta 1996. Precise color Communication. Color control From feeling to instrumentation. Minolta Co. Ltd. Japan
- Mitchell F. G., E. Mitcham, J. F. Thompson and N. Welch. 1998. Handling strawberries for fresh market. Oakland, CA: Univ Calif. Agr. Nat. Resources, Special Publ. 2442, 14.
- Molina E., R. Salas y A. Castro. 1993. Curva de crecimiento y absorción de nutrientes de fresa (*Fragaria x ananassa* cv. Chandler) en alajuela. *Agronomía Costarricense* 17: 67-73.
- Monroy J., J. A. Vera Nuñez, M. A. Carrera, O. A. Grageda Cabrera y J. J. C. Peña. 2001. Absorción de Nitrógeno (15n) y productividad del agua por el cultivo de fresa (*Fragaria x ananasa*) en "El Bajío", México. *Terra* 20: 65-69.
- Monteiro A. y J. Mexia. 1988. Influência da poda e do número de frutos por planta na qualidade dos frutos e produtividade do melão. *Horticultura Brasileira*, 6(1), 9-12.
- Maroto B. J. V. y G. S. López. 1988. Producción de fresas y fresones. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 119 p.

- Morgan L. 2002. Producción intensiva de fresa. *Productores de Hortalizas* 11(8): 14-17.
- Muramoto J., S. R. Gliessman and C. Shenman. 2005. Maintaining agroecosystem health in an organic strawberry / vegetable rotation system. Final Report. Organic Farming Research Foundation Project Report. University of California Santa Cruz, CA. disponible en: http://ofrf.org/funded/reports/muramoto_03f12.pdf (consulta: junio 2017).
- Murray R. M., J. Bojórquez, A. Jiménez, M. G. Orozco, J. D. García, Gómez, H. Ontiveros y O. Aguirre. 2011. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Biociencias* 1(3):27-35.
- Mustin M. 1987. *Le Compost, Gestion de la Matiere organique*. Paris, Editions Francois DUBU S C.954.
- Ndegwa P. M., S. A. Thompson and K. C. Dass. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Biores. Technol.* 71: 5-12.
- Nestby R., F. Lieten, D. Pivo, C. R. Lacroix and M. Tagliavini. 2005. Influence of Mineral Nutrients on Strawberry Fruit Quality and their Accumulation in Plant Organic. A review. *Acta Hort.* 649:201-206.
- Neuweiler R. 1997. Nitrogen fertilization in integrated outdoor strawberry production. *Acta Horticulturae*, 439(2): 747-751.
- Nicolas N. y E. Nahum. 1995. Evaluación de extractos de algas marinas en el cultivo de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* cv. Indianápolis). Tesis de licenciatura. UNAM. Cuatitlán Izcalli, Edo. de México.
- Niemi M. and M. Vestberg. 1992. Inoculation of commercially grown strawberry with VA mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 95, 133-142.
- Nouri E., F. Breuillin-Sessoms, U. Feller and D. Reinhardt. 2014. Phosphorus and nitrogen regulate arbuscular mycorrhizal symbiosis in petunia hybrid. *PLoS ONE*. 9(3): e90841.
- Nunes M. C. N., J. K. Brecht, A. M. M. B. Morais and S. A. Sargent. 1995. Physical and chemical quality characteristics of strawberry after storage are reduced by a short delay to cooling. *Postharvest Biology and Technology*. 6: 17-28.
- Olalde-Portugal V. 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Scientia Horticulturae*, 113(1), 103-106.
- Orozco F. H., J. Cegarra, L. Trujillo and A. M. Roig. 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia foetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biology and Fertility of Soils* 22,162-166.
- Overholser E. L. and L. L. Claypool. 1932. The relation of fertilizers to respiration and certain physical properties of strawberries. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 28: 220-224.
- Padilla F. M. y F. I. Pugnaire. 2006. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4: 196-202.
- Palencia P., F. Martinez and C. Weiland. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on quality of strawberry fruit in soilless growing system. *Acta Horticulturae*. 1013:493-498.

- Palha M. G., J. L. Campo, L. Reis and C. S. Andrade. 2009. Solarization and chemical preplanting soil disinfections effects on strawberry production. *Acta Horticulturae*. 842: 949-952.
- Pastor S. J. N. 2000. Utilización de sustratos en viveros. *Terra* 17 (3):213–235.
- Pedraza-Santos, M., D. Jean-Contreras, A. Gutiérrez- Espinoza, T. Colinas-León y C. López-Peralta. 2001. Crecimiento y nutrición de microplantas de gerbera inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares. *Agrociencia* 35: 149-158.
- Pino O., F. J. Lazo, Y. Sánchez, A. Iglesias, L. garcía y B. P. Khambag. 2008. La flora cubana como fuente de bioplaguicidas. *Fitosanidad* 12(3):163.
- Planes L. M., A. J. Calderón, L. A. Terry, S. I. Figueroa, B. E. Utria y L. Abadis. 2004. La biofertilización como herramienta biotecnológica de la agricultura sostenible. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10 (1): 5-10.
- Poling E. B. and K. Parker. 1990. Plug production of strawberry transplant. *Adv. Strawberry Prod.* 9:37-39.
- Porcel R., R. Aroca and J. M. Ruiz-Lozano. 2011. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32: 181–200.
- Pozo M. J., and C. Azcón-Aguilar. 2007. Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Curr. Opin. Plant Biol.* 10:393–398.
- PPI/PPIC/FAR. 2002. Plant Nutrient Use in North American Agriculture. Potash and Phosphate Institute. Norcross, G.A.
- Pritts M. P. and D. Handley. 1998. Strawberry production guide for the Northeast, Midwest, and Eastern Canada. Ithaca, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension: 162
- Purquerio L., A. Cecílio y J. Barbosa. 2003. Efeito da concentração de nitrogênio na solução nutritiva e do número de frutos por planta sobre a produção do meloeiro. *Horticultura Brasileira*, 21(2), 185-190.
- Quiroz M., R. E. García, M. Gonzales, P. Chung, y H. Soto. 2009. Vivero forestal: producción de plantas nativas a raíz cubierta. Centro Tecnológico de la Planta Forestal. Concepción, Chile. 128.
- Ramírez-Padrón L. C., I. Caamal-Cauich, V. G. Pat-Fernández y D. Martínez-Luis. 2016. Índices de competitividad de la fresa (*fragaria vesca* L.) de México en el mercado mundial. *Agro Productividad*. 9(5):29-34.
- Rasmusson A., I. Møller and J. Browse. 2014. Respiration and lipid metabolism. In: L. Taiz, E. Zeiger, I. Møller y A. Murphy (eds.). *Plant Physiology and Development*. Sinauer. Sunderland, MA, USA. 317-352.
- Raynal C. y M. Carmentran. 2001. Fertilization of strawberry crops-Yield and fruit quality. *Infos-CTIFL* 170:41-44.
- Reinés A. M. 2004. Dinámica y causa de la presencia de planarias terrestres Plathelminthes: terrícola en unidades de lombricultura en Cuba. Memoria del primer Congreso Internacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos: Inocuidad Alimentaria y un Ambiente Sano. 10-12 de marzo. Guadalajara, Jalisco, Mexico. 118-121.
- Resh H. M. 2001. Cultivos Hidroponicos. Ediciones Mundi-Prensa. Quinta edición. Madrid, España. 558.
- Rivera F. H., G. Vazquez, L. E. Castillejo, M. V. Angoa, G. Oyoque y H. G. Mena. 2012. Efecto de hongos micorrízicos arbusculares y extracto acuoso de

- vermicomposta sobre calidad de fresa. Universidad Indígena de México. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. 119-130.
- Rodríguez D. N., R. P. Cano, C. E. Favela, V. U. Figueroa, P. V. Álvarez, G. A. Palomo, H. C. Márquez y R. A. Moreno. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13(2): 185-192.
- Rodríguez D. y M. Sanabria, 2005. Efecto del extracto de tres plantas silvestres sobre la rizoctoniosis, la mancha sureña del maíz y los patógenos que las causan. *INCI*. 30(12):739-744.
- Rodríguez Y., Y. Dalpé y S. Séguin. 2014. Clasificación taxonómica de la cepa de hongo micorrizógeno arbuscular INCAM-2 como *Funneliformis mosseae*, syn. *Glomus mosseae*. *Cultivos Tropicales*, 35(2), 27-33.
- Romero L. M. R. L. 1997. Abonos orgánicos y químicos en producción, sanidad y absorción nutrimental de papa y efecto en el suelo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, México.
- Romero-Romano C. O., J. Ocampo-Mendoza, E. Sandoval-Castro y J. R. Tobar-Reyes. 2012. Fertilización Orgánica-Mineral y Orgánica en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananasa* Duch.) bajo condiciones de invernadero. Universidad Autónoma Indígena de México.
- Roselló A., A. Domínguez, R. Girona y M. Ruiz. 1999. Comparación de diversos sustratos para su utilización en viveros ecológicos. *Lagascalía* 25: 176 - 177.
- Rubio S. A., A. M. Alfonso, C. M. Grijalba y M. M. Perez. 2014. Determinación de costos de producción de la fresa cultivada a campo abierto y bajo macrotúnel.
- Ruiz C. G. G., I. J. Medina, T. C. Gonzales, L. H. E. Ortiz, P. R. Flores, F. Martínez, Keir y M. Byerly. 1999. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias (INIFAP). pp 128,129, 130.
- Ruiz-Lozano J. M., M. Gómez, R. Núñez y R. Azcón. 2000. Mycorrhizal colonization and drought stress affect ¹³C in ¹³CO₂-labeled lettuce plants. *Dinamarca. Physiologia Plantarum* 109: 268-273.
- Salas R. 2002. Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar. Seminario de Fertilización foliar: Principios y Aplicaciones. Laboratorio de Suelos y Foliar en colaboración con la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. 7-18.
- Santibáñez F. 1994. Crop requirements: Temperate crops. In: Handbook of agricultural meteorology. J. F. Griffiths Editor. Oxford Univ. Press. New York., USA. 174-188.
- Santoyo J. 2009. Paquete tecnológico para la producción de fresa. Fundación PRODUCE Sinaloa A.C.
- Scheurell S. and W. F. Mahaffee. 2004. Compost tea as a container media drench for suppressing seedling damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*. 94: 1156-1163.
- Schoemaker J. S. and E. W. Greve. 1930. Relation of N fertilizer to firmness and composition of strawberries. *Ohio Agr. Expt. Sta. Bul.* 466.

- Schüßler A., D. Schwarzott and C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol. Res.* 105:1413–1421 pp.
- Serrato C. R. y F. V. Landeros. 2001. Instructivo para análisis de suelos. Propiedades Químicas. Laboratorio de suelos CIEAF. UAEMéx. 32.
- Shkolnik M. Y. 1974. General conception of the physiological role of boron in plants. *Soviet Plant Nutr.* 21 (2): 137-150.
- SIAP-SAGARPA. 2016. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx (Consultado el 18 de mayo, 2017).
- Siles J. 1998. El manejo de desecho de broza con lombrices californianas. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CAT I E. 93.
- Smith S. D. and D. J. Read. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3a ed. Academic Press. New York. 199 -215.
- Smith F. A., I. Jakobsen and S. E. Smith. 2000. Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Medicago truncatula*. *New Phytol.* 147:357–366.
- Stapleton S. C., C. K. Chandler, D. E. Legard, J. E. Price and J. C. Sumler. 2001. Transplant source affects fruiting performance and pests of ‘Sweet Charlie’ strawberry in Florida. *Horticultural Technology* 11: 61-65.
- Stauffer B. A., A. Orrego y A. Aquino. 2000. Selección de extractos vegetales con efecto fungicida y/o bactericida. *Revista de Ciencia y Tecnología* 1(2):29-33
- Subramanian K. S., P. SanthanaKrishnan and P. Balasubramanian. 2006. *Scientia Horticulturae* 107: 245-253.
- Sudzuki F. 1988. Cultivo de frutales menores. Editorial Universitaria. Chile. 184 p.
- Tabatabaei S. J., L. S. Fatemi and E. Fallahi. 2006. Effect of Ammonion:Nitrate Ratio on Yield, Calcium Concentration, and Phostoyntesis Rate in Strawberry. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1273-1285.
- Tagliavini M., E. Baldi, P. Lucchi, M. Antonelli, G. Sorrenti, G. Baruzzi and W. Faedi. 2005. Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Dutch.) grown in soil soiless culture. *Europ. J. Agronomy.* 23: 15-25.
- Takeda F. and M. Newell. 2006. Effects of runner tip size and plugging date on fall flowering in short – day strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars [electronic resource]. *International Journal of Fruit Science.* 6:103-117.
- Tamayo E., T. Gómez-Gallego, C. Azcón-Aguilar and N. Ferrol. 2014. Genome-wide analysis of copper, iron and zinc transporters in the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis*. *Plant Traffic Transp.* 5:547.
- Taoka K. I., I. Ohki, H. Tsuji, K. Furuita, K. Hayashi, T. Yanase and Y. Ogaki. 2011. 14-3-3 proteins act as intracellular receptors for rice Hd3a florigen. *Nature*, 476(7360), 332.
- Tellez F. y L. Salmerón. 2007. Efecto de cuatro niveles de fertilización orgánica sobre tres variedades de fresa (*Fragaria* sp.) En las Sabanas, Madriz. Trabajo de Diploma. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria. Managua-Nicaragua.
- Thingstrup I., H. Kahiluoto and I. Jakobsen. 2000. Phosphate transport by hypha of field communities of arbuscular mycorrhizal fungi at two levels of P fertilization. *Plant Soil* 221: 181-187.

- Thomson, B. D., A. D. Robson and L. K. Abbott. 1986. Effects of phosphorus on the formation of mycorrhizas by *Gigaspora calospora* and *Glomus fasciculatum* in relation to root carbohydrates. *New Phytol.* 103: 751-765.
- Trinidad, A., J. Guzman y L. Mena. 2015. Abonos orgánicos en la producción de guayaba (*Psidium guayava L.*) en la región del oriente del estado de Michoacán. Colegio de Postgraduados. Edo. de Mex. Mexico. 30-38.
- Ulrich A., M. A. E. Mostafa, W. W. Allen. 1980. Strawberry deficiency symptoms: a visual and plant analysis guide to fertilization. *Agric. Esp. Univ. California. Bull.* 30-31.
- Varma A. and H. Schüepp. 1994. Infectivity and effectiveness of *Glomus intraradices* on micropropagated plants. *Mycorrhiza* 5: 29-37.
- Vasil I. K. 1964. Effect of boron on pollen germination and pollen tube growth, pp. 107-119. In: H.F. Linskens (ed.). *Pollen physiology and fertilization*. North Holland, Amsterdam.
- Vinicio F. 2002. Aspectos mecánicos de absorción de nutrimentos por el follaje. Seminario de Fertilización foliar: Principios y Aplicaciones. Laboratorio de Suelos y Foliareos en colaboración con la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. 1- 6.
- Visser L. G. 1955. Germination and storage of pollen. *Meded. Landbouwhog. Wageningen* 55: 1-68.
- Wang S. Y. and S. S. Lin. 2002. Composts as soil supplement enhanced plant growth and fruit quality of strawberry. *Journal of Plant Nutrition.* 25: 2243-2259.
- Welke. S. E. 2004. The effect of composta extract on yields of strawberries and the severity of *Botrytis cinerea*. *Journal of Sustainable Agriculture* 25(1): 57-68.
- Weston, L. A. and M. M. Barth. 1997. Preharvest factors affecting postharvest quality of vegetables *HortScience*, 32 (1997), pp. 812-816.
- Williams S. C. K., M. Vestberg, M. Uosukainen, J. C. Dodd and P. Jeffries. 1992. Effects of fertilizers and arbuscular mycorrhizal fungi on the post vitro growth of micropropagated strawberry. *Agronomie* 12: 851-857.
- Willis L. G. 1945. Defective strawberry fruit corrected by borax. *Better Crops with Plant Food* 29 (2): 22, 39-40.
- Wills R., B. McGlasson, D. Graham and D. Joyce. 2007. *Postharvest. An introduction to the physiology & Handling of fruit, vegetables & ornamentals*. CAB International. Wallingford UK. 262.
- Yoshida Y., M. Ohi, and K. Fujimoto. 1991. Fruits malformation, size and yield in relation to nitrogen and nursery plants in large fruited strawberry (*Fragaria ananassa* X Duch. Cv. Ai-Berry). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 59 (4): 727-735.