



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA**

**SISTEMA INTENSIVO DE PRODUCCIÓN DE FRESA BAJO
CONDICIONES DE INVERNADERO**

HÉCTOR RAÚL GUTIÉRREZ ROQUE

T E S I S

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

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

La presente tesis titulada: **Sistema intensivo de producción de fresa bajo condiciones de invernadero**, realizada por el alumno: **Héctor Raúl Gutiérrez Roque**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENETICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENETICA

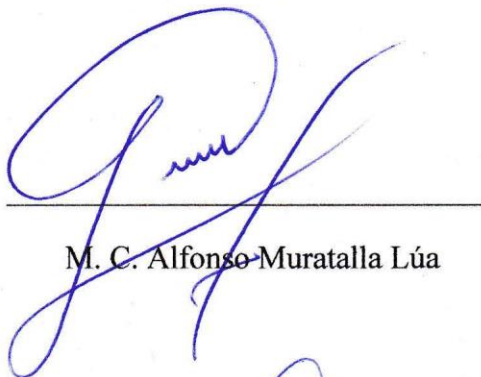
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



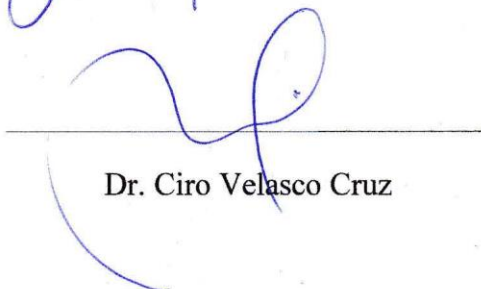
Dr. Manuel Livera Muñoz

ASESOR:



M. C. Alfonso Muratalla Lúa

ASESOR:



Dr. Ciro Velasco Cruz

Montecillo, Texcoco, Edo. De México, Marzo de 2015

SISTEMA INTENSIVO DE PRODUCCIÓN DE FRESA BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

Héctor Raúl Gutiérrez Roque, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

Los objetivos de esta investigación fueron desarrollar un sistema intensivo de producción de fresa de alta calidad, bajo invernadero de polietileno, usando como recipientes para las plantas envases de PET reciclados y determinar la variedad o variedades apropiadas para un sistema de producción con las plantas suspendidas. Se establecieron 24 tratamientos resultado de la combinación del factor variedades (Albión, Camino Real, Festival, Fortuna, Pico de Pájaro y San Andreas) y cuatro niveles o alturas (1.00, 1.20, 1.40 y 1.80 m) a las que se pusieron las plantas colocadas en envases de PET de un L usando como sustrato fibra de coco, tezontle y tepojal en la proporción 1:1:1; la nutrición de las plantas se hizo con la solución de Steiner al 50%. Se evaluó el rendimiento y la calidad de fruto en el periodo de diciembre de 2013 a junio de 2014. Las variedades Albión y Festival fueron las más productivas en promedio de todos los niveles en el periodo de producción considerado (140.4 y 140.6 g/planta, respectivamente); Camino Real tuvo un rendimiento mayor al de Albión y Festival en los dos niveles inferiores (175.2 y 141.5 g/planta, respectivamente), pero decreciendo drásticamente en el nivel superior; todas las variedades, a excepción de Fortuna, presentaron una tendencia a disminuir su rendimiento al ser colocadas a mayor altura. Durante el periodo de cosecha todas las variedades, a excepción de Fortuna, presentaron picos de producción en enero, marzo y junio. En la calidad de fruto, las diferencias se debieron al efecto de las variedades; solo el tamaño y la concentración de sólidos solubles totales (SST) fueron afectados por el efecto de los niveles, donde todas las variedades presentaron frutos de menor tamaño y mayor concentración de SST en el nivel superior (1.80 m). Con base en la relación entre el rendimiento acumulado de fruta fresca por planta y el gasto total de agua en el periodo experimental, Albión y Festival fueron las más eficientes en el uso de agua, produciendo un kg de fruta fresca por cada 102 L. Estos resultados muestran que este sistema con las plantas de fresa colocadas a 1.00, 1.20 y 1.40 m de altura, producen un alto rendimiento de fruta con características de calidad e inocuidad demandadas en el mercado.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa* Duch., plantas suspendidas, hidroponía, rendimiento, calidad e inocuidad.

INTENSIVE PRODUCTION SYSTEM OF STRAWBERRY UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

Héctor Gutiérrez Raúl Roque, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2015

SUMMARY

The objectives of this research were to develop an intensive production system to obtain high quality strawberries under greenhouse conditions, using PET recycled containers for the plants and to define the variety or varieties appropriate for a production system with suspended plants. 24 treatments were studied as a result of the combination of the varieties factor (Albion, Camino Real, Festival, Fortuna, Bird Beak and San Andreas) and four levels or heights (1.00, 1.20, 1.40 and 1.80 m) at which the plants in one L of recycled PET containers with a substrate of coconut fiber, tezontle (red gravel volcanic) and tepojal (white gravel volcanic) in the ratio 1: 1: 1 were set; plant nutrition was carried out using the Steiner solution at 50%. Yield and fruit quality in the period December 2013 to June 2014 were evaluated. Albion and Festival varieties were the most productive on the average considering all levels in the production period concerned (140.4 and 140.6 g/plant, respectively); Camino Real had a higher yield than Albion and Festival in the two lower levels (175.2 and 141.5 g/plant respectively), but decreasing sharply in the upper level; all varieties except Fortuna, showed a trend to decrease performance when placed at higher elevations. During the harvest period all varieties except Fortuna, showed production peaks in January, March and June. Regarding fruit quality, there were differences due to the effect of varieties; only fruit size and concentration of total soluble solids (TSS) were affected by the effect of levels, where all varieties had smaller fruit and highest concentration of SST on the upper level (1.80 m). Based on the relationship between the cumulative yield of fresh fruit per plant and total water consumption in the experimental period, Albion and Festival were the most efficient varieties in the use of water producing one kg of fresh fruit per 102 L. These results show that this system with the strawberry plants placed at 1.00, 1.20 and 1.40 m tall, producing a high yield of fruit with high quality and food safety characteristics required in the market.

Keywords: *Fragaria x ananassa* Duch., suspended plants, hydroponics, yield, quality and food safety.

Agradecimientos

A dios por permitirme estar aquí el día hoy concretando esta etapa más de mi vida profesional y humana.

Al pueblo de México, que por medio del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) me proporcionaron los recursos económicos necesarios para realizar mis estudios como Maestro en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados por permitirme realizar mis estudios de postgrado, por como los conocimientos adquiridos durante mi formación académica y poder así entender las diversas situaciones y generar una mejor solución a ello.

Al Dr. Manuel Lívera Muñoz por todo su apoyo y paciencia en la realización de este proyecto, no solo como Profesor Consejero sino como amigo en la dirección de este proyecto.

Al MC. Alfonso Muratalla Lúa por su apoyo, observaciones y recomendaciones durante la realización de la investigación.

Al Dr. Ciro Velazco Cruz por apoyarme durante toda la fase del análisis estadístico.

A todos mis profesores quienes participaron en mi formación académica a quienes les admiro con gran respeto.

Dedicatoria

A la mujer que amo, mi esposa Cristina por estar conmigo apoyándome en todo momento, por tu comprensión y paciencia, y por darme la fuerza para seguir adelante.

A mis padres Angelina y Raúl, estaré siempre agradecido por darme la vida, porque han sabido hacer de mí un hombre de bien, por enseñarme a través de sus consejos y regaños el significado del trabajo, la honradez y la responsabilidad, por darme toda su confianza y apoyo en cada momento.

A toda mi familia por creer en mí porque gracias a ellos hoy soy esta persona, por toda la confianza que depositan en mí por darme esperanza y un apoyo incondicional, mil gracias a todos.

TABLA DE CONTENIDO

Índice de cuadros	IX
Índice de figuras	X
1. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS E HIPOTESIS	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Heladas en el Valle de México	5
2.2 La resistencia de la fresa al frío	6
2.3 Origen e historia del cultivo de la fresa	6
2.4 Taxonomía y morfología	6
2.5 Variedades cultivadas en México	7
2.6 Requerimientos edafoclimaticos	8
2.6.1 Temperatura	8
2.6.2 Suelo	8
2.6.3 Agua	8
2.6.4 Fertilización	9
2.7 Valor nutricional de la fresa	9
2.8 Importancia Mundial	9
2.9 Importancia en México	10
2.10 Sistemas de producción de fresa en México	11
2.10.1 Sistema tradicional	11
2.10.2 Mediana tecnología	12
2.10.3 Alta tecnología	12
2.10.3.1 Hidroponía	13
2.10.3.2 Sustratos	12
2.10.3.3 Recipientes y plantas suspendidas	13
3. MATERIALES Y METODOS	14
3.1 Localización	14
3.2 Material vegetal	14
3.3 Manejo agronómico	15

3.3.1	Sustrato y recipientes	15
3.3.2	Sistema de riego	16
3.3.3	Fertirriego	16
3.3.4	Podas	17
3.3.5	Cosecha	17
3.4	Tratamientos y diseño experimental	17
3.5	VARIABLES EVALUADAS	18
3.5.1	VARIABLES DE RENDIMIENTO	18
3.5.2	INDICADORES DE CALIDAD DEL FRUTO	18
3.5.2.1	Tamaño de fruto	18
3.5.2.2	Peso promedio de fruto.....	18
3.5.2.3	Firmeza	18
3.5.2.4	Color	18
3.5.2.5	pH	19
3.5.2.6	Sólidos solubles totales.....	19
3.5.2.7	Acidez titulable	19
3.5.2.8	Índice de sabor	19
3.6	Temperatura	20
3.7	Uso de agua	20
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1	Rendimiento acumulado	21
4.2	Rendimiento por cosecha	24
4.3	Calidad de fruto	32
4.4	Temperatura de la hoja y fruto	38
4.5	Consumo de agua	42
5.	CONCLUSIONES	43
6.	LITERATURA CITADA	44
7.	APÉNDICE	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Características generales del material vegetal.	14
Cuadro 2.	Cálculo de solución nutritiva de Steiner al 50%.	16
Cuadro 3.	Preparación de 1000 L de la solución nutritiva de Steiner al 50%.	17
Cuadro 4.	Prueba de F para el rendimiento acumulado en el periodo diciembre-junio y variables relacionadas.	21
Cuadro 5.	Comparación de medias de las variedades para el rendimiento por planta (RPTA) y número de frutos por planta (NFPTA) en el periodo diciembre-junio.	22
Cuadro 6.	Comparación de medias de los niveles o alturas para el rendimiento por planta (RPTA) y número de frutos por planta (NFPTA) en el periodo diciembre-junio.	22
Cuadro 7.	Cuadrados medios del rendimiento (RE) por cosecha en el periodo diciembre-junio.	24
Cuadro 8.	Pruebas de F para variables de calidad del fruto en variedades y niveles.	32
Cuadro 9.	Comparación de medias para variables de calidad de fruto entre variedades.	33
Cuadro 10.	Comparación de medias para variables de calidad de fruto entre niveles.	34
Cuadro 11.	Pruebas de F para temperaturas promedio en el período del 15 al 17 de octubre de 2014 de las hojas y de los frutos a diferentes horas del día: amanecer (6:30-7:00 h), medio día (12:00-12:30 h) y en la noche (21:00-21:30 h), para variedades y niveles.	38
Cuadro 12.	Comparación de medias para temperaturas promedio en el período del 15 al 17 de octubre de 2014 de las hojas y de los frutos a diferentes horas del día: amanecer (6:30-7:00 h), medio día (12:00-12:30 h) y en la noche (21:00-21:30 h), para variedades y niveles.	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama del sistema de producción de fresa en soporte suspendido.	15
Figura 2.	Interacción del Rendimiento por Planta (RPTA) de las variedades Albión (AL), Camino Real (CR), Festival (FE), Fortuna (FO), Pico de Pájaro (PP) y San Andreas (SA) por niveles.	23
Figura 3.	Interacción del número de frutos por planta (NFPTA) de las variedades Albión (AL), Camino Real (CR), Festival (FE), Fortuna (FO), Pico de Pájaro (PP) y San Andreas (SA) por niveles.	24
Figura 4.	Rendimiento promedio de las variedades de fresa a) Albión, b) Camino Real, c) Festival, d) Fortuna, e) Pico de Pájaro, y f) San Andreas en el periodo diciembre-junio, cada punto representa el rendimiento promedio de los cuatro niveles en cada cosecha.	25
Figura 5.	Rendimiento de la variedad Albión en diferentes niveles: a) 1.00 m, b) 1.20 m, c) 1.40 m y d) 1.80 m, en cada cosecha en el periodo diciembre-junio; cada punto representa el rendimiento promedio en cada cosecha.	26
Figura 6.	Rendimiento de la variedad Camino Real en diferentes niveles: a) 1.00 m, b) 1.20 m, c) 1.40 m y d) 1.80 m, en cada cosecha en el periodo diciembre-junio; cada punto representa el rendimiento promedio en cada cosecha.	27
Figura 7.	Rendimiento de la variedad Festival en diferentes niveles: a) 1.00 m, b) 1.20 m, c) 1.40 m y d) 1.80 m, en cada cosecha en el periodo diciembre-junio; cada punto representa el rendimiento promedio en cada cosecha.	28
Figura 8.	Rendimiento de la variedad Fortuna en diferentes niveles: a) 1.00 m, b) 1.20 m, c) 1.40 m y d) 1.80 m, en cada cosecha en el periodo diciembre-junio; cada punto representa el rendimiento promedio en cada cosecha.	29
Figura 9.	Rendimiento de la variedad Pico de Pájaro en diferentes niveles: a) 1.00 m, b) 1.20 m, c) 1.40 m y d) 1.80 m, en cada cosecha en el periodo diciembre-junio; cada punto representa el rendimiento promedio en cada cosecha.	30
Figura 10.	Rendimiento de la variedad San Andreas en diferentes niveles: a) 1.00 m, b) 1.20 m, c) 1.40 m y d) 1.80 m, en cada cosecha en el periodo diciembre-junio; cada punto representa el rendimiento promedio en cada cosecha.	31
Figura 11.	Promedio de las seis variedades en cada nivel de las variables de calidad de fruto a) diámetro ecuatorial (DE), b) diámetro polar (DP), c) peso promedio del fruto (PPF) y d) sólidos solubles totales (SST).	34
Figura 12.	Correlación entre la acumulación de sólidos solubles totales y la altura.	35

Figura 13.	Interacción del porcentaje de ácido cítrico en el fruto (AT) de las seis variedades por niveles.	36
Figura 14.	Grafica de la interacción del peso promedio del fruto (PPF) de las variedades por niveles.	36
Figura 15.	Grafica de la interacción del índice de sabor (IS) de las variedades por niveles.	37
Figura 16.	Temperaturas (mínimas, máximas y medias diarias) del aire en el interior del invernadero en los meses febrero, marzo y mayo del 2014.	40
Figura 17.	Temperaturas promedio de las hojas y frutos y aire y del invernadero en diferentes horas del día: amanecer (6:30-7:00 h), medio día (12:00-12:30 h) y en la noche (21:00-21:30 h).	41
Figura 18.	Uso del agua de seis variedades de fresa (Albión (AL), Camino Real (CR), Festival (FE), Fortuna (FO), Pico de Pájaro (PP) y San Andreas (SA)). A) gramos de fruta fresca por planta por litro de agua, B) litros de agua por kilogramo de fruta fresca., en el periodo experimental.	42

I. INTRODUCCIÓN

En el Valle de México se ha extendido el cultivo de hortalizas y flores en invernaderos cubiertos con polietileno, para acelerar el crecimiento y desarrollo de las plantas y protegerlos de las bajas temperaturas, principalmente. Sin embargo, en su mayoría no están equipados con calefacción, y si la tienen no la utilizan por el alto precio del combustible. Por lo anterior, en otoño e invierno se presentan daños por frío en cultivos como jitomate, pimiento y crisantemo. Por ello, es necesario tener especies y variedades tolerantes a bajas temperaturas, incluso a las inferiores a 0° C, para cultivarlas en esos invernaderos sin calefacción en sistemas eficientes, sustentables y rentables (Ramírez *et al.*, 2001).

Un sistema eficiente debe tener como resultado un alto rendimiento y un producto de calidad en el tiempo en que los precios en el mercado son favorables, para que sea rentable. La producción bajo invernadero puede requerir de una inversión alta, dependiendo del tipo de invernadero y del nivel de la tecnología que se utilice. Los agricultores de la región aledaña a Texcoco, Estado de México, ya tienen los invernaderos cubiertos con polietileno, y sería deseable desarrollar un sistema de producción alternativo utilizando especies tolerantes al frío para cultivarlas sin el riesgo de daños por heladas.

La fresa puede ser la base de uno de estos agrosistemas para el Valle de México porque hay reportes que existen variedades mejoradas que resisten temperaturas bajas entre -8 y -12 ° C (Nestby y Bjorgum, 1999; Rajashekar *et al.*, 1999; NDong *et al.*, 1997) y porque su fruto tiene gran aceptación y demanda en México y el mundo. Su aporte, para mantener y mejorar la salud, incluye vitamina C, taninos, flavonoides, antocianinas, catequina, quercetina, kaemferol, y los ácidos cítrico, málico y oxálico (Voca *et al.*, 2009). Además, hay estudios que sugieren que dietas ricas en fresas tienen potencial para disminuir el riesgo de eventos cardiovasculares, disminuir la frecuencia de trombosis y sus extractos tienen actividad anticancerígena y efectos contra el envejecimiento cerebral (Zapata *et al.*, 2006; Restrepo *et al.*, 2008; García y Praderas, 2010).

En México se cultivan cerca de 8500 ha con fresa y las principales regiones productoras están en los estados de Michoacán, Baja California y Guanajuato. (SAGARPA-SIAP, 2013). La mayor parte se cultiva en suelo, y en algunas regiones se riega con agua contaminada con microorganismos de las heces fecales de humanos y animales y, además, se utilizan pesticidas que dejan residuos en la fruta. Esta falta de inocuidad limita su consumo y su precio (Jiménez, 2010; Cano, 2013; Chaidez, 2002).

En los últimos 5 años el consumo de fresa en México ha registrado un incremento; ya que de 800 g que era la media per cápita, pasó a 1.5 kg, debido a campañas de promoción de esta fruta, y se espera que continúe incrementándose; pero para que esto suceda, se debe eliminar la percepción negativa que tienen los consumidores respecto a su inocuidad y calidad (SAGARPA-SPF, 2013).

La fresa se puede cultivar de otra forma; por ejemplo empleando micro túneles e invernaderos cubiertos con polietileno, utilizando camas en el suelo. Existen otros métodos como son el cultivo sin suelo, utilizando diferentes tipos de sustrato (López, 2005), en macetas, tubos o bolsas en el suelo o con los recipientes colocados en estructuras con forma de pirámide o en diferentes tipos de soportes colgados de la estructura del invernadero. La decisión sobre el sistema de cultivo a utilizar dependerá del análisis beneficio-costo, del acceso a un mercado adecuado y de los recursos materiales y económicos necesarios para una operación eficiente (Martínez y León, 2004). Las principales ventajas de cultivar fresas en invernadero son proporcionar mejores condiciones para el óptimo desarrollo del cultivo, obtener mayor producción y mejor calidad de frutos, y ajustar las fechas de máxima producción para aprovechar las ventanas de mercado con mejores precios (Medrano *et al.*, 2013). Una característica del cultivo bajo invernadero es que se establecen más plantas por unidad de área lo que incrementa la productividad (Pérez, 2005; Navarro, 2001).

Una estrategia para evitar la contaminación por microorganismos del suelo y agua es el uso de sustratos inertes y agua limpia en cultivo hidropónico, estrategia que ha dado buenos resultados en fresa (Caso *et al.*, 2010; López *et al.*, 2005; Cruz, *et al.*, 2012).

Otro problema del Valle de México, la región más poblada del país, es la producción y manejo de la basura, donde diariamente se producen más de 25 000 t, incluyendo aproximadamente 5 500 t de envases de PET (INEGI, 2013). De esta cantidad de PET solo se recicla el 15%, lo que en parte se debe al bajo precio que tiene en el mercado (2 y 3 pesos/kg). Del PET que se recicla solo el 45% se aprovecha en el país y el resto va a Estados Unidos o a naciones de Asia, donde se utiliza en la elaboración de textiles y de nuevas botellas, principalmente (SEMARNAT, 2015). Un uso alternativo de los envases de PET puede ser como recipientes similares a macetas para cultivar plantas como la fresa, que tiene raíces pequeñas (Castanho *et al.*, 2011).

El objetivo de esta investigación, es aprovechar la resistencia de la planta de fresa al frío y sus características productivas para desarrollar un sistema intensivo de producción de fresa en invernadero, con características de sustentabilidad.

OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son:

- a) Desarrollar un sistema intensivo de producción de fresa de alta calidad, bajo invernadero de polietileno, usando como recipientes para las plantas envases de PET reciclados.
- b) Determinar la variedad o variedades apropiadas para un sistema de producción con las plantas suspendidas.

HIPÓTESIS

Es posible identificar una variedad o variedades con rendimiento y calidad de fruto apropiados para un sistema de producción con alta densidad de plantas en envases reciclados de PET.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Heladas en el Valle de México

En meteorología una helada ocurre cuando la temperatura del aire es de 0 °C o menos, medida a 1.5 m de altura y con el termómetro dentro de una caseta meteorológica. Cuando se alcanza la temperatura de 0 °C en la caseta en la noche, el aire a la intemperie puede tener una temperatura menor y también las hojas de las plantas (Carrillo *et al.*, 1994). La severidad de los efectos de la helada en los cultivos dependerá del nivel de la temperatura mínima del aire, la tasa de enfriamiento, la duración de las temperaturas bajo 0 °C y de la resistencia de las plantas (Carrillo *et al.*, 1994; Barrales *et al.*, 2002; Snyder y de Melo, 2010).

Año con año en el norte y centro de la República Mexicana se presentan heladas durante los meses fríos del año de septiembre a marzo siendo las más frecuentes las heladas por radiación, y en segundo lugar las heladas por advección, debidas al ingreso de aire polar continental, proveniente del norte, causando graves daños en los cultivos agrícolas (Carrillo *et al.*, 1994; Barrales *et al.*, 2002; Ramírez *et al.*, 2001). En los últimos años se han presentado heladas con mayor frecuencia y con mayor severidad; las heladas ocurridas en 2011 y 2013 ocasionaron graves pérdidas en los cultivos, especialmente en hortalizas como el tomate y pimiento, entre otros, e incluso en los cultivos de invierno como el trigo y la cebada (SAGARPA, 2011). Pero sus efectos no solo se limitan a los cultivos a campo abierto, también pueden afectar aquellos bajo cubiertas como malla sombra, microtuneles y macrotuneles, incluso bajo invernaderos que no cuentan con un sistema de calefacción, siendo las hortalizas como el tomate y el pepino las más afectadas ya que sus temperaturas mínimas letales se ubican entre 2 y 1 °C, respectivamente (Tesi, 1989, citado por Jiménez, 1991).

El efecto de las heladas en la planta primeramente es el congelamiento del agua que se encuentra en los espacios intercelulares, y si la temperatura continua descendiendo puede causar el congelamiento del agua en el citoplasma. En el primer caso la planta se puede recuperar si la temperatura sube; lo que no ocurre en el segundo (Lyons *et al.*, 1979). Los daños pueden ocurrir en plantas anuales y perennes y pueden ser drásticos, matando plantas enteras, o pueden causar daños parciales, afectando los órganos más susceptibles como son flores y frutos, reduciendo el rendimiento y la calidad del producto (Snyder y de Melo, 2010; Chaar, 2013; Inouye, 2000).

2.2 La resistencia de la fresa al frío

La resistencia a heladas puede ser una característica genética de la especie, inducida por aclimatación o por la aplicación de reguladores como ácido absísico o brasinoesteroides (Yañez, 2002) o también con glicina betaina y prolina (Ashraf y Foolad, 2007). Estudios realizados en las variedades de fresa 'Bounty', 'Korona' y 'Senga Sengana' demostraron que la planta sobrevive temperaturas de -8 hasta -12°C (Nestby y Bjorgum, 1999; Rajashekar *et al.*, 1999; NDong *et al.*, 1997). La resistencia de la fresa a heladas también ha sido mejorada a través de transgénesis, insertando el gen del trigo WCOR410 que codifica para la producción de una proteína ácida (dehidrina), que mejora hasta en -5°C dicha resistencia, asociándose a la membrana plasmática para conservarla funcionando; esta resistencia debe ser inducida para que se exprese (Houde *et al.*, 2004).

2.3 Origen e historia del cultivo de la fresa

La fresa cultivada comercialmente debe su origen a dos especies, *F. chiloensis* y *F. virginiana*, nativas del Nuevo Mundo. *F. chiloensis* es nativa de la costa oeste de Norte y Sudamérica, mientras que *F. virginiana* es nativa de la costa este de Norteamérica. Éstas fueron llevadas a Europa donde accidentalmente formaron híbridos a mediados del siglo XVIII (Darrow, 1966). La fresa regresó a América del Norte como híbrido domesticado y, con mejoramiento genético adicional, se produjeron variedades con el fruto moderno de gran tamaño y sabor excelente, que ahora se cultivan en todo el mundo. Las fresas comprenden varias especies de plantas rastreras del género *Fragaria*, nombre que se relaciona con la fragancia que posee (fraga, en latín), cultivadas por su fruto comestible (Giampieri *et al.*, 2012; Tulcan *et al.*, 2013).

2.4 Taxonomía y Morfología

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) pertenece a la familia Rosácea, subfamilia Rosoidea, tribu Potentilla y género *Fragaria*. (Darrow, 1966; Seeling, 1975).

La planta de fresa ha sido descrita por Darrow 1966:

La planta es herbácea, perenne, y pequeña, como una roseta con hojas verdes y flores blancas de unos 25-30 cm por arriba del suelo.

Las raíces son fibrosas y poco profundas, y son de dos tipos, raíces y raicillas: las raíces son gruesas, de mayor longitud, de color café, tejidos leñosos (suberizados) de larga vida. Las raicillas son delgadas, de color blanco, de vida corta, una o dos semanas; son las más activas para absorber el agua y los nutrientes.

La corona o tallo es corto, es de forma cónica, en ella se acumulan reservas nutritivas que le sirven para nutrirse durante el trasplante. De la corona salen los peciolos foliares largos, y en la punta están las hojas, cada una con tres folíolos. Las hojas tienen margen aserrado y una densidad estomática de 300 a 400/ mm².

Las flores emergen del tallo o corona, tienen un largo peciolo y cinco o seis pétalos de color blanco, con unos 20 estambres de color amarillo y aproximadamente ochenta gineceos de color verde amarillento sobre un receptáculo carnoso.

Cada óvulo fecundado da origen a un fruto tipo aquenio, aunque el fruto comestible es el receptáculo.

2.5 Variedades cultivadas en México

Actualmente todas las variedades de fresa que se cultivan en el mundo derivan del híbrido *Fragaria x ananassa*, que tienen un número cromosómico n=7 y son octaploides (Darrow, 1966) y últimamente se han desarrollado decaploides. En México se cultivan diferentes variedades, cada una con características específicas; como son rendimientos, épocas de producción, resistencias a plagas y enfermedades, sabor, color y tamaño, entre otras. Las variedades se expresan de manera diferente dependiendo de la región donde se establezcan. Las más utilizadas en México fueron desarrolladas por la Universidad de California y la Universidad de Florida, EE.UU. y entre ellas se encuentran “Festival”, “Sweet Charlie”, “Galexia”, “Camino Real”, “Albión”, “Camarosa”, “San Andreas”, “Aromas”, “Ventana” y “Diamante”, que en varios ciclos han demostrado su buena productividad y calidad en el campo.

También se han generado y validado variedades mexicanas de fresa para los estados de Michoacán, Guanajuato, Estado de México y Jalisco, por el Colegio de Postgraduados (Zamorana, Jacona, CP LE-7, CP 06-15) y el INIFAP (Nikte y Pakal) (Calderon, 2012).

2.6 Requerimientos edafoclimáticos.

2.6.1 Temperatura.

La fresa es un cultivo que se adapta a diferentes tipos de climas. Su parte vegetativa es resistente a heladas, llegando a tolerar temperaturas de hasta $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; pero los órganos florales quedan dañados cuando la temperatura es cercana a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sobrevive temperaturas estivales de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$; sin embargo, los órganos florales no resisten temperaturas superiores a $32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los valores óptimos para una fructificación adecuada están entre 15 y $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; y el intervalo de las temperaturas medias anuales esta entre 10 y $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, dependiendo de la variedad. Temperaturas por debajo de $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el cuajado producen frutos deformados por frío, en tanto que un tiempo caluroso puede causar una rápida maduración del fruto, que resulta en un tamaño pequeño inadecuado para su comercialización (Pimentel y Velázquez, 2010; Santos y Obregón, 2009).

2.6.2 Suelo.

La fresa es un cultivo exigente en cuanto a condiciones de suelo, prefiere suelos ricos en materia orgánica, aireados, bien drenados, pero con cierta capacidad de retención de agua. La mayoría de los suelos minerales son adecuados para su cultivo. Las fresas, por lo general, no se cultivan en suelos orgánicos. Todos los suelos, especialmente los excesivamente bien drenados, deben tener un contenido de materia orgánica arriba del 2% para mejorarlo y promover la retención de agua y fertilizantes (Pimentel y Velázquez, 2010; Santos y Obregón, 2009).

2.6.3 Agua.

Con relación a los requerimientos de agua para producir fresa, se señala que a nivel mundial se requieren $276\text{ m}^3/\text{t}$ fruta fresca (276 L/kg). En México este requerimiento se eleva a 361 L/kg . Para mejorar la eficiencia en el uso del agua y de los fertilizantes se está cambiando de riego rodado a riego por goteo (SAGARPA-SIAP, 2010). La cantidad y calidad del agua para riego son importantes ya que el cultivo disminuye significativamente su rendimiento por estrés hídrico o salino.

2.6.4 Fertilización.

La fertilización de la fresa debe realizarse con base en un análisis del suelo y del agua de riego y en las necesidades del cultivo. Se debe evitar aplicar cantidades de N excesivas porque aumentan la cantidad de frutos malformados, promueven el crecimiento vegetativo y la reducción del rendimiento. Las dosis de K superiores a las recomendadas reducen el tamaño de los frutos y los rendimientos. La aplicación de fertilizantes a través del sistema de riego por goteo (fertirriego) ofrece el potencial para aumentar eficiencia de la aplicación de nutrientes esenciales (Pimentel y Velázquez, 2010; Santos y Obregón, 2009).

2.7 Valor nutricional de la fresa.

La fresa es una de las frutas más populares y con mayor demanda a nivel mundial, su calidad se enfoca principalmente en su apariencia (tamaño, forma, color, entre otros) y el balance apropiado de compuestos volátiles y no volátiles presentes en el fruto; como son los carbohidratos, aminoácidos y los ácidos orgánicos que son considerados como los compuestos responsables del sabor y, además, son precursores de los compuestos que producen su aroma característico. El fruto contiene altas cantidades de vitamina C, compuestos fenólicos (taninos, flavonoides, antocianinas, catequina, quercetina, kaempferol, y los ácidos cítrico, málico y oxálico) y otros antioxidantes necesarios para la dieta humana. Además, hay estudios que sugieren que dietas ricas en fresas tienen potencial para disminuir el riesgo de eventos cardiovasculares y la frecuencia de trombosis, y que sus extractos tienen actividad anticancerígena y efectos contra el envejecimiento cerebral (Voca *et al.*, 2009; Zapata *et al.*, 2006; Restrepo *et al.*, 2008; García y Praderas, 2010).

2.8 Importancia Mundial.

A nivel mundial se cultivaron 241,109 ha en 2012 obteniéndose una producción de 4,516,810 t. de esta frutilla; los principales países productores en orden

de importancia son: EE. UU., México, Turquía, España, Egipto, Corea, Japón, Federación de Rusia y Alemania (SAGARPA-SIAP, 2014).

México se ubica en el segundo lugar en relación al volumen mundial, con una producción total de 379,463.88 t, esto se debe a las mejoras tecnológicas utilizadas en este cultivo, como el uso de riego por goteo, acolchados plásticos, macrotuneles, etc.

El consumo de frutas en general ha aumentado gracias a la tendencia de una alimentación saludable que se ha visto reforzado por programas como "5 fresas al día para una mejor salud" (SAGARPA-SPF, 2013).

Los EE. UU. son los mayores consumidores de fresa en el mundo, con un consumo anual superior al millón de toneladas de fresa, con un consumo per cápita de 3.58 kg que aproximadamente es el doble del consumo en México. No obstante que EE.UU. es el principal productor de fresa en el mundo, su periodo de producción comprende los meses de abril a octubre; en tanto que la cosecha de la fresa mexicana es en el periodo de noviembre a agosto, con el pico de producción entre enero y marzo, lo que constituye una ventana comercial importante para la fresa mexicana (SAGARPA-SPF, 2013).

2.9 Importancia en México.

Para México el cultivo de la fresa es de gran importancia socioeconómica por su fuerte demanda de mano de obra y porque a través de las exportaciones genera un elevado ingreso de divisas (Sánchez, 2008).

En México se cultivan cerca de 8500 ha con fresa y las principales regiones productoras están en los estados de Michoacán, Baja California y Guanajuato. (SAGARPA-SIAP, 2013). Michoacán es el estado con mayor superficie cultivada La mayor parte se cultiva en suelo, y en algunas regiones se riega con agua contaminada con microorganismos de las heces fecales de humanos y animales y, además, se utilizan pesticidas que dejan residuos en la fruta. Esta falta de inocuidad limita su consumo y su precio (Jiménez, 2010; Cano, 2013; Chaidez, 2002).

En los últimos 5 años el consumo de fresa en México ha registrado un incremento; ya que de 800 g que era la media per cápita, pasó a 1.5 kg, debido a campañas de promoción de esta fruta, y se espera que continúe incrementándose; pero para que esto suceda, se debe eliminar la percepción negativa que tienen los consumidores respecto a su inocuidad y calidad (SAGARPA-SPF, 2013).

El Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 indica que tiene como principales objetivos: lograr una economía competitiva y generadora de empleos y garantizar la igualdad de oportunidades y la sustentabilidad ambiental., y que el sector agropecuario y pesquero es estratégico y prioritario para el desarrollo del país.

Sin embargo, los productores agropecuarios y pesqueros enfrentan limitantes por bajos niveles de capitalización de sus unidades económicas, insuficiente acceso a servicios financieros en el medio rural, deterioro de los recursos naturales para la producción primaria, reducidos márgenes de operación, bajas capacidades para la inserción sostenible de sus productos en los mercados, dificultad de reincorporarse a sus actividades productivas ante la ocurrencia de contingencias climatológicas, e insuficiente profesionalización de las organizaciones sociales y económicas. (SAGARPA-SPF, 2013).

Un factor que puede coadyuvar a cambiar esta situación es la implementación de agrosistemas eficientes en el uso de los recursos, amigables con el ambiente y rentables.

2.10 Sistemas de producción de fresa en México.

En México existen diferentes sistemas de producción de fresa, cada uno con características particulares en función del desarrollo de la fruta en el campo, calidad e inocuidad, y son los siguientes (SAGARPA-SPF, 2013):

2.10.1. Sistema tradicional. Es cultivo a campo abierto utilizando "riego rodado". La fruta se desarrolla sobre la tierra y por lo tanto tiene contacto con el suelo y agua de riego, demeritando su calidad e inocuidad. El rendimiento por hectárea promedio es del orden de 26 t ha^{-1} , con calidad variable y para su venta en el mercado

nacional y la industria. Este sistema se utiliza en regiones de los estados de Guanajuato, Estado de México y Michoacán.

2.10.2. Mediana tecnología. Se utiliza riego por goteo y fertirriego, cubiertas plásticas para el acolchado del suelo y evitar el contacto de la fruta con éste y mejorar el uso de la radiación solar, la protección de la planta y evitar la presencia de malezas. Con este sistema se obtiene un ahorro de agua de un 60 % en comparación con el riego rodado y se aprovechan mejor los nutrientes. El rendimiento promedio que se obtiene es de 32 t ha⁻¹ con calidad más uniforme que la fruta del sistema tradicional. En este sistema se puede obtener fruta con calidad para exportación.

2.10.3. Alta tecnología. Es un cultivo protegido con macrotuneles o invernadero, con riego por goteo y aplicación automatizada, con una nutrición acorde a las necesidades del cultivo, se usa acolchado o malla plástica para cubrir el suelo, se utilizan cortinas antiafidos y se mejora el manejo fitosanitario. Se mejora el rendimiento y la calidad; se obtiene entre 70 y 90 t ha⁻¹, el periodo de producción se prolonga, y la calidad del fruto es de buena a excelente.

2.10.3.1 Hidroponía.

En un sistema tecnificado se puede utilizar la hidroponía en la que no se usa suelo o éste es sustituido por un sustrato que debe ser inerte y estéril; las raíces de las plantas se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos disueltos en agua (Sánchez y Escalante, 1989).

2.10.3.2 Sustratos.

Emplear sustratos se justifica cuando se tienen suelos con problemas de acidez, baja fertilidad y alta erosión, lo cual limita la producción de los cultivos (Pérez *et al.*, 2013); deben ser económicos y de fácil disponibilidad, con una adecuada capacidad de retención de humedad y con una buena aireación, estables y libres de patógenos. Entre los más utilizados está la turba (peat moss), la tierra de monte, arena de río, perlita, vermiculita, agrolita, tezontle, compostas y recientemente la fibra de coco, entre otros (López *et al.*, 2005). En México existen materiales que se pueden emplear como sustratos, entre los que destacan la piedra pómez o tepojal y el tezontle (Solís, 2013).

2.10.3.3 Recipientes.

Los cultivos hidropónicos necesitan recipientes en los que se pone el sustrato. El tipo y tamaño del recipiente o contenedor que se usa debe estar acorde con el espacio disponible, las posibilidades técnicas, económicas y las necesidades del cultivo. La fresa puede ser cultivada colocando el sustrato en bolsas de polietileno, macetas de plástico o poliestireno, y canaletas o tubos de polivinil cloruro (PVC) de diferentes formas y tamaños (Castañeda, 2000; Paranjpe, 2008). Las plantas en estos recipientes pueden estar sobre el suelo, o elevados a diferentes alturas en un sistema suspendido, que tiene como ventajas facilitar las labores de cultivo, particularmente la cosecha, mejorando el rendimiento de la mano de obra y coadyuvando a obtener una mejor calidad e inocuidad (Martínez y León, 2004; Fazla, 2008). Con las plantas suspendidas se aprovecha mejor el espacio dentro del invernadero y se puede utilizar una mayor densidad de plantas por metro cuadrado, con lo cual se aumenta el rendimiento y la productividad con estos sistemas (Castillo, 2001; Furlani y Fernández, 2007). También se han desarrollado sistemas donde la fresa se cultiva utilizando tubos de PVC o de polietileno en los que las plantas de fresa se trasplantan a diferentes alturas.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización. El experimento se realizó durante el período de octubre del 2013 a julio del 2014, en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, en un invernadero tipo túnel con diseño de media luna con una altura de 4.5 m y 6 m de ancho y cubierta de polietileno, con estructura de acero galvanizado, con ventilación lateral y una orientación Norte-sur, ubicado en Montecillos, Texcoco Edo de México, a 19°27'39'' Latitud Norte, 98°54'13'' Longitud Oeste, con altitud de 2246 msnm, con un clima C (W₀) (W) b (y) g, descrito como templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 645 mm y temperatura media anual de 15 °C, con heladas tempranas a finales de septiembre y tardías en marzo (García, 1973).

3.2. Material vegetal. Se estudiaron seis variedades de fresa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Material vegetal utilizado en el experimento.

Variedad	Características generales
Festival (FE)	Planta vigorosa, gran productora de estolones, de buen rendimiento. De día corto, productora en invierno. Fruto cónico, firme, excelente sabor. Color externo rojo intenso y brillante, color interno rojo claro. Susceptible a antracnosis de fruto (<i>Colletotrichum acutatum</i>), pudrición de corona (<i>Colletotrichum gloeosporoides</i>) y mancha angular de la hoja (<i>Xanthomonas fragariae</i>).
Camino Real (CR)	Variedad tardía, plantas compactas, requieren enfriamiento adicional, de día corto. Fruto grande, buen sabor, altamente tolerante a daño por lluvia. Sensible a las aspersiones con azufre, relativamente tolerante a <i>Phytophthora</i> y <i>Verticillium</i> .
Albión (AL)	Planta moderadamente vigorosa, alta resistencia a condiciones climatológicas adversas, altos rendimientos, de día neutro. Su fruto es grande, excelente sabor, color rojo interno y externo. Tolerante a la mayoría de patógenos del suelo (<i>Verticillium</i> , <i>Phytophthora</i>), moderadamente tolerante a cenicilla (<i>Sphaerotheca macularis</i>) y araña roja.
San Andreas (SA)	Poca necesidad de frío en vivero, más precoz que Camarosa, producción estable durante el año, buena producción, de día neutro. Fruto muy similar a Albión, buen sabor y buen tamaño que mantiene en toda la temporada. Resistente a enfermedades.
Pico de pájaro (PP)	Variedad intermedia a tardía, de día neutro. La planta es muy vigorosa y productiva y sus frutos son grandes y cónicos de color rojo brillante, resistentes al transporte. Rendimiento elevado.
Fortuna (FO)	Es muy precoz y productiva, de día corto produce un alto porcentaje de fruta de primera calidad, apta para el mercado, uniforme y bien formada.

Fuente: Pimentel y Velázquez, 2010.

3.3. Manejo Agronómico. Comprendió la preparación del invernadero, sustrato, recipientes, trasplante, podas, riego, y cosecha. Se llevó a cabo como se indica a continuación y el control de plagas fue auxiliado con barreras de color y el uso de insecticidas repelentes.

3.3.1. Sustrato y recipientes. El sustrato empleado fue una mezcla de tezontle rojo, tepojal blanco y fibra de coco, en una proporción 1:1:1; la mezcla fue colocada en botellas recicladas de PET de 1 L. Las plántulas de fresa de las seis variedades, obtenidas a partir de plantas madre procedentes de las Universidades de California y Florida propagadas en viveros a campo abierto en el municipio de Irapuato, tenían tres hojas al trasplantarse en los recipientes con sustrato húmedo y se distribuyeron en el invernadero en cuatro diferentes niveles o alturas (1.0, 1.2, 1.4, y 1.8 m). Los días 3, 4 y 5 de octubre de 2013 los materiales se trasplantaron al modelo de producción. Las plantas se colgaron en líneas de alambre galvanizado calibre 10, tendidas sobre estructuras hechas con varilla de acero de ½ pulgada. Las líneas más altas, a 1.80 m, se suspendieron de la estructura del invernadero para soportar el peso de las plantas con el sustrato. La distribución de las plantas se indica en la Figura 1.

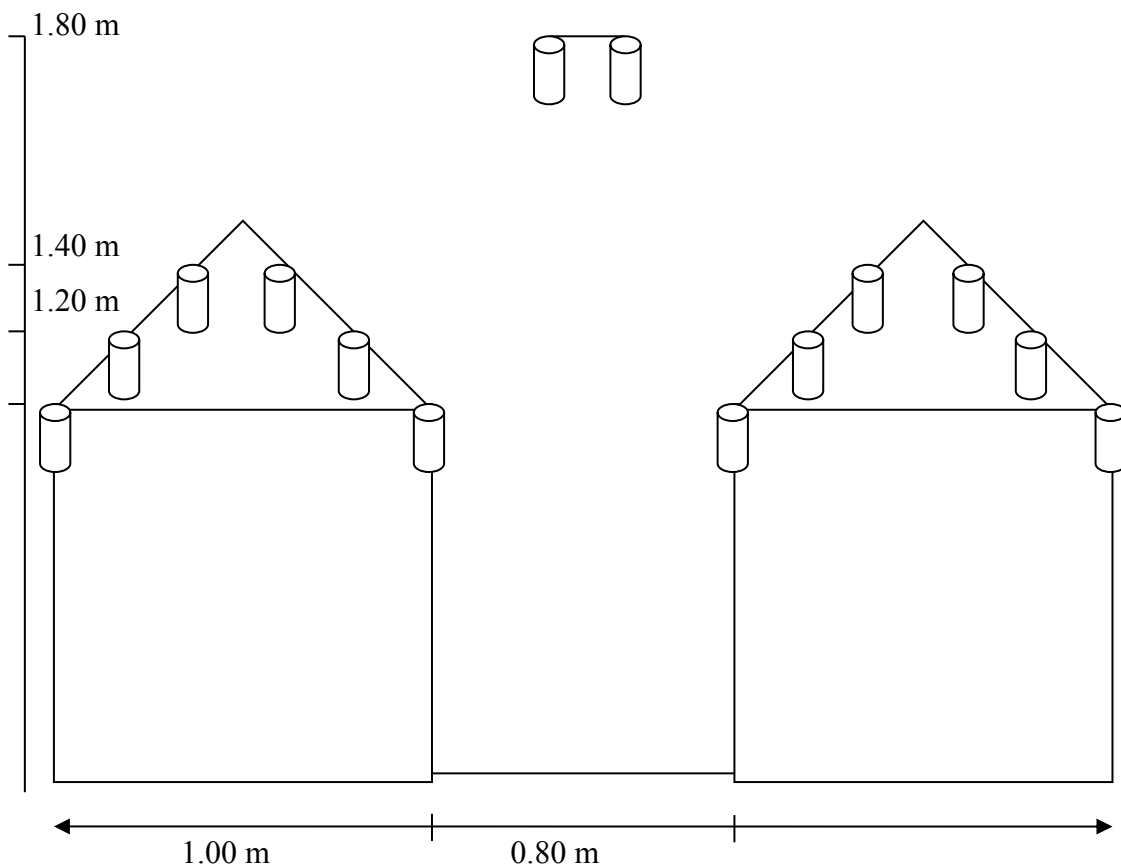


Figura 1. Diagrama del sistema de producción de fresa en soporte suspendido.

3.3.2. Sistema de riego. Consistió en riego por goteo localizado en con goteros de 4 L h⁻¹; en cada gotero se puso un distribuidor para 4 plantas con los respectivos “espaguetis” y goteros tipo estaca. El riego se hizo utilizando una bomba hidráulica de ½ hp en forma automatizada mediante una estación de riego marca Hunter, la cual se programó para dar riegos precisos con duración de 1 minuto, cuatro veces al día (6:00 am, 11:00 am, 4:00 pm y 9:00 pm), con un gasto aproximado de 16 mL/min/planta.

3.3.3. Fertirriego. La nutrición de las plantas se hizo con una solución hidropónica (Steiner al 50% o 1.0 ds/m) (Cuadro 2), que fue ajustada con un análisis previo del agua de riego y suministrada en forma gradual conforme la etapa del cultivo (0.25 al trasplante, 0.5 al inicio de las cosechas y finalmente 1.0 ds/m durante la temporada de cosechas).

Cuadro 2. Solución nutritiva de Steiner al 50% o 1.0 ds/m.

SOLUCION NUTRITIVA			
	Requerimiento (ppm)	Análisis de agua (ppm)	Requerimiento final (ppm)
N total	84	0.056	84
N-NO ₃	84	0.056	84
N-NH ₄	0	0	0
P-PO ₄	16	0	15
K	137	4.812	132
Ca	90	26.249	64
Mg	24	29.091	-5
S-SO ₄	56	36.32	20
Fe	3	0.025	3
B	0.5	0.07	0.4
Mn	0.5	0.001	0.5
Zn	0.05	0.014	0.04
Cu	0.025	0.008	0.017
Mo	0.002	0	0.002
Na ⁺	0	35.707	0
Cl ⁻	0	1	0
HCO ₃ ⁻	0	3.5	0

Para la aplicación de la nutrición se prepararon tambos de 1000 L utilizando las sales indicadas en el Cuadro 3

Cuadro 3. Preparación de 1000 L de solución Steiner al 50% ó 1.0 ds/m.

FERTILIZANTES	FORMULA
Nombre comercial	(g)
Nitrato de calcio	375.01
Nitrato de potasio (NKS)	213.60
Fosfato monopotásico (MKP)	66.92
Sulfato de potasio	83.17
Multicomb	14.26

Una vez disueltas las sales se ajustó el pH de la solución a 5.5-6.0 con ácido sulfúrico (H_2SO_4); este parámetro y la conductividad eléctrica se monitorearon frecuentemente con un combo HANNA HI98129.

3.3.4. Podas. Se hicieron con intervalos aproximados de 15 días, conforme lo requería el cultivo, para remover las hojas senescentes y el exceso de coronas, dejando un máximo de tres por planta, para mantenerlas compactas, conforme al volumen del recipiente y, sobre todo, para permitir una mejor distribución de la luz.

3.3.5. Cosecha. Se realizaron dos veces por semana en el periodo de diciembre de 2013 a junio de 2014, cosechando únicamente los frutos maduros con mínimo $\frac{3}{4}$ partes de coloración en la superficie del fruto.

3.4. Tratamientos y diseño experimental. Se establecieron 24 tratamientos resultado de la combinación del factor variedades (seis) y cuatro niveles o alturas a las que se pusieron las plantas (Figura 1). Se realizó un análisis de varianza considerando un diseño factorial 4x6; es decir, 4 niveles o alturas y seis variedades, con dos repeticiones por tratamiento. La unidad experimental se conformó con 8 plantas separadas 20 cm para tener una densidad aproximada de 30 plantas m^{-2} o 250,000 plantas ha^{-1} , aproximadamente.

3.5. Variables evaluadas

3.5.1. Rendimiento. Se hicieron 46 cosechas a partir del 9 de diciembre del 2013 al 20 de junio del 2014; se determinó el Rendimiento Acumulado (RA, g), Número de Frutos acumulado (NFA) y se estimó el Rendimiento por Planta (RPTA, g) y Número de frutos por planta (NFPTA) para este periodo. Con los datos de cada cosecha se hicieron gráficas para cada variedad y nivel ajustando una curva de tendencia. El peso de los frutos se obtuvo con una balanza analítica marca OHAUS Scout pro de 200g.

3.5.2. Indicadores de calidad del fruto

3.5.2.1. Tamaño de fruto (DE y DP). Para este parámetro se consideró la norma NMX-FF-062-SCFI-2002; se midieron los diámetros ecuatorial (DE) y polar (DP) de los frutos con ayuda de un vernier digital estándar y milimétrico marca TRUPER de 6'' (150 mm).

3.5.2.2. Peso Promedio del Fruto (PPF, g). Se determinó a partir del rendimiento total o acumulado y el número de frutos total.

3.5.2.3. Firmeza de fruto (Firmeza). Se determinó empleando un penetrómetro portátil modelo Dynamometre FDP500; que va de 0-500 g fuerza, que se convirtieron a Newtons, con puntal cilíndrico de 0.6 mm recomendado para este tipo de frutos. Este método determina la fuerza necesaria para ocasionar la ruptura de los tejidos de la epidermis del fruto.

3.5.2.4. Color del fruto (COLOR). Se determinó con un colorímetro HunterLab D25-PC2 (Reston, Virginia, USA), considerando la lectura de 3 parámetros: "L" que mide la luminosidad; "a" registra las tonalidades correspondientes al color verde con valores negativos (-a) o positivos para el valor rojo (+a); y "b" el cual registra las tonalidades correspondientes al amarillo (+b) y un valor negativo (-b) para el azul (Minolta, 1994). A partir de estos parámetros se calculó el ángulo de tono (Hue) y la pureza de color (croma), con base en las siguientes formulas: $\text{hue} = \text{Tan}^{-1} (b/a)$; $\text{croma} = (a^2+b^2)^{1/2}$, y el valor L se obtiene de forma directa de las mediciones del colorímetro.

3.5.2.5. pH en la pulpa del fruto (pH). La lectura se tomó de la mezcla que sobró para la determinación de acidez con un potenciómetro modelo CONDUCTRONIC PC45.

3.5.2.6. Sólidos solubles totales (SST). Se colocó una gota de jugo de cada muestra en la celda del refractómetro de mano marca ATAGO N-1E para hacer la medición.

3.5.2.7. Acidez titulable (AT). Se utilizó el método de AOAC (Boland, 1990); se pesaron 10 g de fruta y se licuaron con 50 mL de agua destilada, se midió el volumen total, se filtró y se tomó una alícuota de 5 mL a la cual se agregaron dos gotas de indicador (fenoftaleína) y posteriormente se tituló con hidróxido de sodio (NaOH/0.01 N) y se calculó el porcentaje de acidez con base en el ácido que se encuentra en mayor proporción, en este caso el ácido cítrico. Para determinar la cantidad de este ácido se utilizó la fórmula siguiente:

$$\% \text{ ácido} = \frac{(\text{mL NaOH gastados})(\text{N del NaOH})(\text{Meq del ácido})(V)(100)}{(\text{Peso de la muestra})(\text{alícuota})}$$

Donde:

V: Volumen total (mL agua + g de pulpa)

Meq del ác. : Miliequivalente del ácido que se encuentra en mayor proporción

N: Normalidad

3.5.2.8. El Índice de sabor (IS), Es la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez titulable; es utilizado para determinar la aceptabilidad del consumidor; (Kader, 1999; Martínez-Bolaños *et al.*, 2008).

3.6. Temperatura (°C). La temperatura del aire del invernadero se registró durante el período de la investigación con un registrador marca HOBO que se instaló a 1.5 m de altura, protegido de la radiación. En un período de tres días, del 15 al 17 de octubre de 2014, se registraron las temperaturas de hojas y frutos de todos los tratamientos, de la parte superior de la cubierta de polietileno y del suelo del invernadero con un termómetro infrarrojo modelo TN408LC marca ZyTemp, tres veces en el día, al amanecer entre 6:30-7:00 h, al medio día entre 12:00-12:30 pm y en la noche entre 21:00-21:30 pm. Con los promedios de las temperaturas de los tres días de las hojas y frutos de los tratamientos se hizo un análisis de varianza.

3.7. Uso de agua (UA). Se midió el gasto total del agua durante el periodo experimental y se calcularon los litros de agua necesarios para producir un kilo de fruta fresca (Yuan, 2004).

Con los datos de cada variable se hicieron análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias con la prueba de Tukey (≤ 0.05) utilizando el programa estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute Inc., 2002-2010). Los cuadros de las pruebas de F de los análisis de varianza se encuentran en el Apéndice.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento acumulado

Las pruebas de F (Cuadro 4) para Rendimiento Acumulado (RA), Número de Frutos Acumulado (NFA), Rendimiento por Planta (RPTA) y Número de Frutos por Planta (NFPTA) muestran que hubo efecto significativo (0.05) de los factores variedades, alturas y la interacción variedades por alturas.

Cuadro 4. Prueba de F para el rendimiento acumulado en el periodo diciembre-junio y variables relacionadas.

F.V	G.L.	Pruebas de F			
		RA	NFA	RPTA	NFPTA
Bloque	2	1.52	1.01	1.48	1.01
Nivel	3	49.31*	12.83*	48.87*	12.83*
Var	5	204.59*	121.09*	201.86*	121.14*
Var*Nivel	15	13.16*	7.98*	12.74 *	7.99*

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad., RA = Rendimiento Acumulado, NFA = Número de Frutos Acumulado, RPTA = Rendimiento por Planta y NFPTA = Número de Frutos por Planta.

La comparación de medias para el rendimiento por planta y número de frutos por planta (Cuadro 5), muestra diferencias significativas entre variedades. Las variedades Festival y Albión fueron las más productivas; Fortuna fue la variedad con los rendimientos más bajos. El mayor número de frutos por planta lo presentó la variedad Festival (25). Considerando el rendimiento por planta (RPTA), tamaño de fruto y número de frutos, la variedad más sobresaliente es Albión. Martínez-Bolaños *et al.* (2008) obtuvieron un rendimiento de 51 t·ha⁻¹ en macrotunel en Festival en un periodo noviembre a mayo, mientras SAGARPA (2014) reporto un rendimiento de 21.79 t ha⁻¹ en el mismo sistema en un periodo similar.

Cuadro 5. Comparación de medias de las variedades para el rendimiento por planta (RPTA) y número de frutos por planta (NFPTA) en el periodo diciembre-junio.

Var	RPTA (g)	NFPTA
AL	140.4 A	18 B
CR	121.1 B	16 B
FE	140.6 A	25 A
FO	48.4 D	9 D
PP	76.9 C	13 C
SA	94.4 C	14 C

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$), AL = Albión, CR = Camino Real, FE = Festival, FO = Fortuna, PP = Pico de Pájaro, SA = San Andreas.

En el factor niveles, la comparación de medias (Cuadro 6) muestra que las plantas establecidas a 1.00 m de altura tuvieron la mayor producción por planta (124.6 g); contrastando con la menor producción (69.4 g) de las plantas establecidas a 1.80 m. Con relación al número de frutos por planta no hubo diferencias significativas entre los primeros tres niveles. El nivel más alto (1.80 m) produjo el menor número de frutos por planta. Al respecto, se ha encontrado en otros sistemas verticales que la mayor producción se obtiene en los estratos superiores, disminuyendo conforme la altura de las plantas decrece (Furlani y Fernández, 2007; Caso *et al.*, 2010; Ramírez, 2011); Caso *et al.* (2010) y Furlani y Fernández (2007) utilizaron tubos verticales de 2 m de altura utilizando una sola variedad (Chandler); esos resultados no concuerdan con lo encontrado en este estudio, lo cual se puede deber a que se utilizaron variedades y sustratos diferentes a las de este estudio.

Cuadro 6. Comparación de medias de los niveles o alturas para el rendimiento por planta (RPTA) y número de frutos por planta (NFPTA) en el periodo diciembre-junio.

Nivel (m)	RPTA (g)	NFPTA
1.00	124.6 A	17 A
1.20	110.0 B	16 A
1.40	110.3 B	17 A
1.80	69.4 C	13 B

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$)

En la Figura 2 se observa la interacción del rendimiento por planta de las variedades con los niveles o alturas; las variedades Albión y Festival se comportaron de forma similar obteniendo los valores más elevados, y bajando su rendimiento en el nivel más alto. Camino Real presentó su mejor rendimiento en el nivel 1, disminuyendo su producción conforme las plantas se colocaron a un nivel mayor. Fortuna, en contraste, incrementó su rendimiento conforme se estableció a alturas mayores. Durner (1999) encontró un incremento de 40 g por planta por cada 30 cm de incremento de elevación en el sistema vertical de 1.75 m de altura, en la variedad Sweet Charlie, resultados que contrastan con los obtenidos en la investigación.

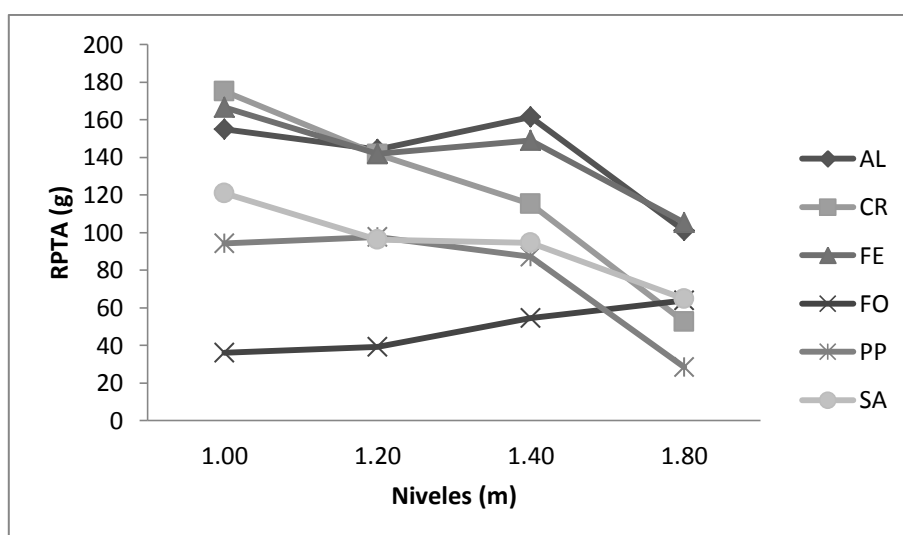


Figura 2. Interacción del Rendimiento por Planta (RPTA) de las variedades Albión (AL), Camino Real (CR), Festival (FE), Fortuna (FO), Pico de Pájaro (PP) y San Andreas (SA) por niveles.

La interacción del número de frutos por planta de las variedades por niveles se presenta en la Figura 3; Festival y Albión muestran un comportamiento paralelo, siendo Festival la superior. Camino Real y Pico de Pájaro presentaron una tendencia a disminuir su número de frutos con la altura. Fortuna contrasta por presentar una tendencia a producir más frutos conforme se incrementa la altura, comportamiento similar al encontrado por Durner (1999) en la variedad Sweet Charlie.

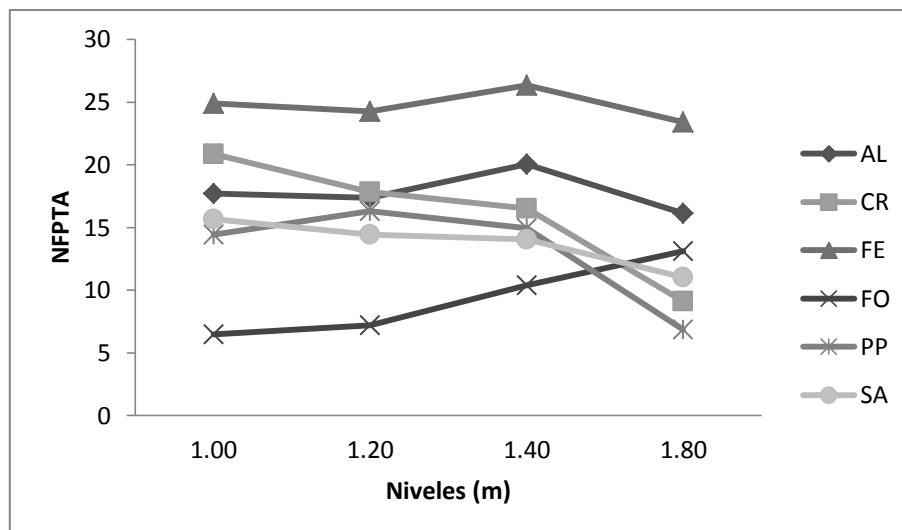


Figura 3. Interacción del número de frutos por planta (NFPTA) de las variedades Albión (AL), Camino Real (CR), Festival (FE), Fortuna (FO), Pico de Pájaro (PP) y San Andreas (SA) por niveles.

4.2. Rendimiento por cosecha

Los cuadrados medios (Cuadro 9) para las variables rendimiento (RE) por cosecha o fecha, muestran que hubo significancia para el efecto de variedades, niveles, fecha, en la interacción variedad por nivel y en la interacción variedades por fecha.

Cuadro 7. Cuadrados medios del rendimiento (RE) por cosecha en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F-Valor	Pr > F
Var	5	204219.9942	40843.9988	250.11	<.0001
Bloque	2	684.6940	342.3470	2.10	0.1230
Nivel	3	56570.6355	18856.8785	115.47	<.0001
Fecha	45	298540.6984	6634.2377	40.62	<.0001
Var*Nivel	15	49578.7504	3305.2500	20.24	<.0001
Var*Fecha	225	248424.0545	1104.1069	6.76	<.0001

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad, S.C. = Suma de Cuadrados, C.M. = Cuadrados Medios

En la Figura 4 se muestra la producción integrada de los cuatro niveles de cada variedad por cosecha; todas las variedades presentaron en promedio 3 picos en los

meses de Enero, Marzo y Junio; Albión sobresale con una mayor producción y una tendencia más estable, por otra parte Festival y Camino Real presentan una tendencia de producción similar, presentando sus picos en las mismas fechas; Fortuna no presentó picos marcados de producción pero si un incremento constante durante todo el ciclo, aun así fue la variedad con menor producción en todas sus cosechas. Martínez-Bolaños *et al.* (2008) reportaron una producción para Festival y otras variedades con picos en los meses de enero, febrero y marzo, similares a los que se presentan en este trabajo.

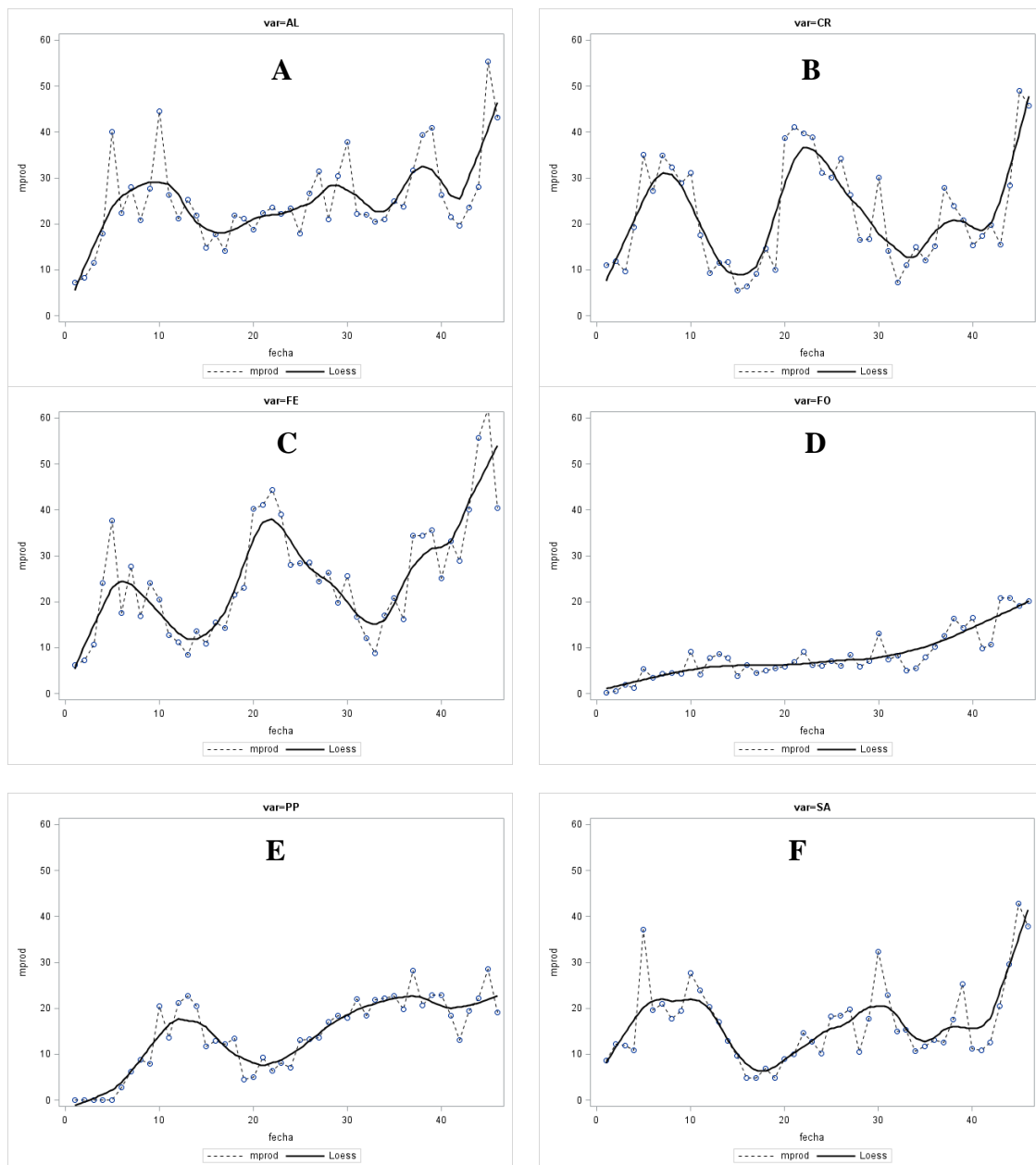


Figura 4. Rendimiento promedio de las variedades de fresa a) Albión, b) Camino Real, c) Festival, d) Fortuna, e) Pico de Pájaro, y f) San Andreas en el periodo diciembre-junio, cada punto representa el rendimiento promedio de los cuatro niveles en cada cosecha.

La Figura 5 muestra el rendimiento de Albión en los diferentes niveles, donde se observa como su producción fue similar en los primeros tres niveles, mostrando ligeros picos con una tendencia a la alza durante todo el ciclo; el nivel 1.80 m tuvo la menor producción con picos en las primeras y últimas fechas.

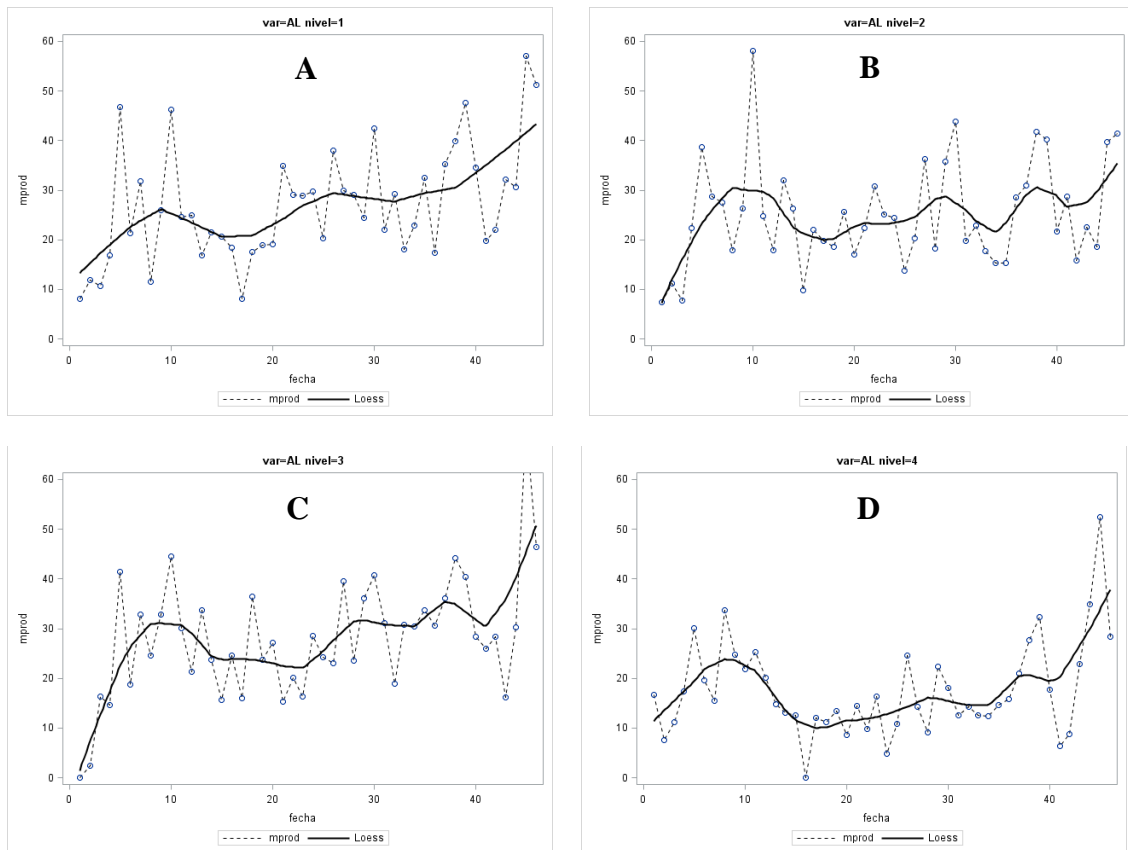


Figura 5. Rendimiento de la variedad Albión en diferentes niveles: a) 1.00 m, b) 1.20 m, c) 1.40 m y d) 1.80 m, en cada cosecha en el periodo diciembre-junio; cada punto representa el rendimiento promedio en cada cosecha.

El rendimiento de Camino Real durante el periodo de producción (Figura 6) mostró una tendencia similar en los primeros 3 niveles en los meses de enero, marzo y junio; el nivel 1.00 m tuvo el mejor rendimiento, en contraste el nivel 1.80 m que presentó la menor producción por debajo de los primeros niveles.

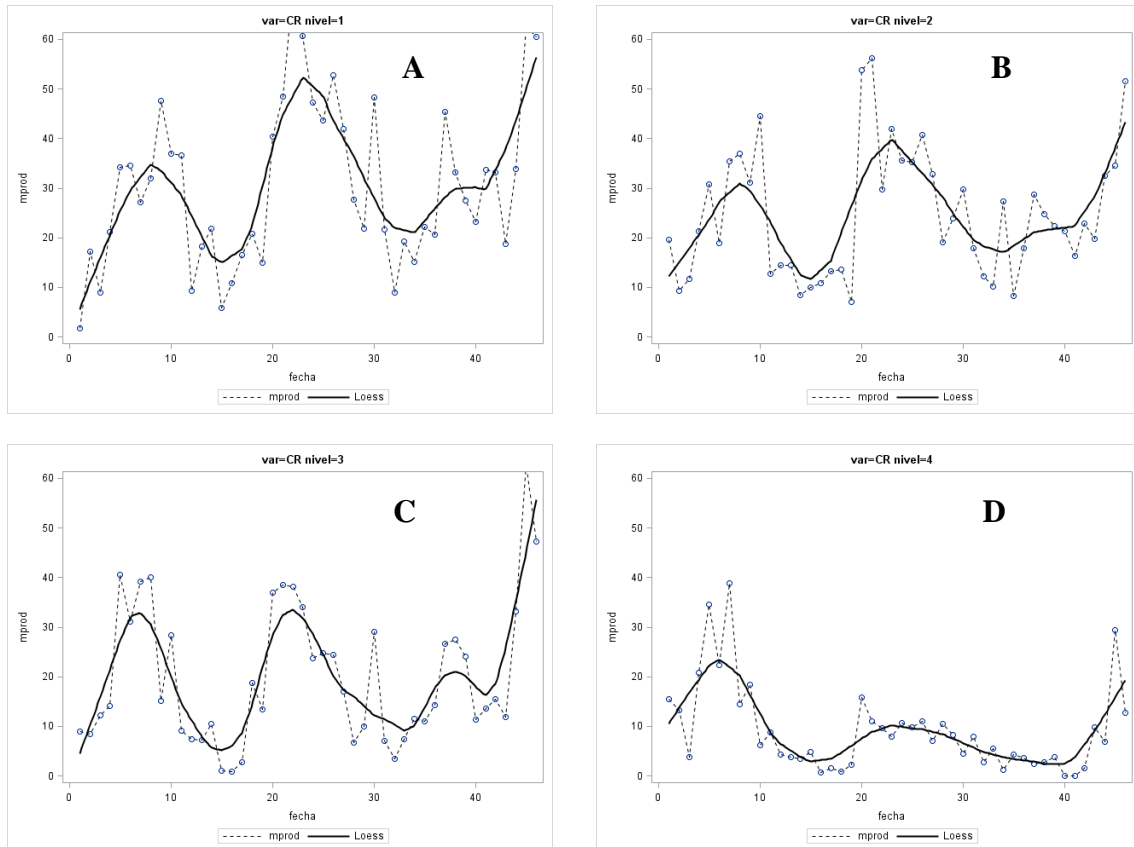


Figura 6. Rendimiento de la variedad Camino Real en diferentes niveles: a) 1.00 m, b) 1.20 m, c) 1.40 m y d) 1.80 m, en cada cosecha en el periodo diciembre-junio; cada punto representa el rendimiento promedio en cada cosecha.

Festival (Figura 7) mostró un tendencia de producción similar en los niveles 1.00 m y 1.20 m con picos marcados en los meses de enero, marzo y junio; en el nivel 1.40 m se muestra una tendencia creciente; en contraste, el nivel 1.80 m tuvo una menor producción, mostrando picos al inicio y al final del periodo en los meses de enero y junio.

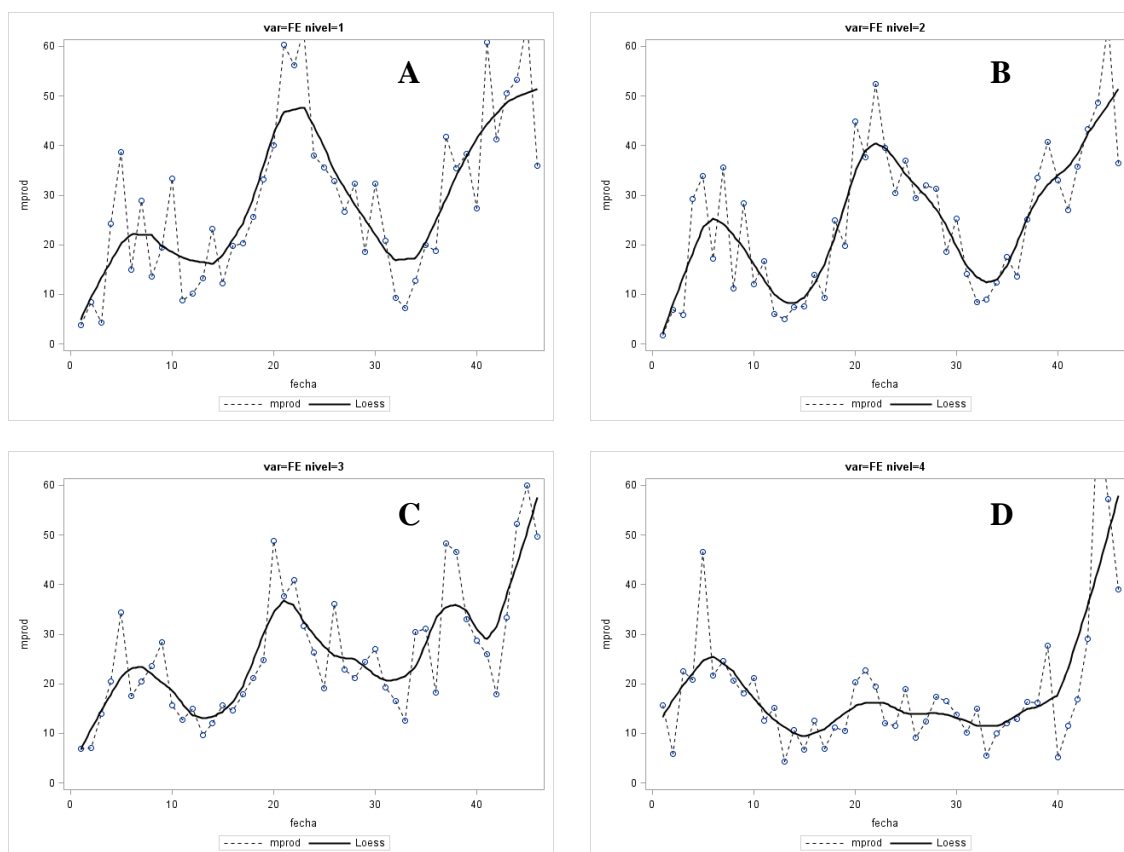


Figura 7. Rendimiento de la variedad Festival en diferentes niveles: a) 1.00 m, b) 1.20 m, c) 1.40 m y d) 1.80 m, en cada cosecha en el periodo diciembre-junio; cada punto representa el rendimiento promedio en cada cosecha.

Fortuna fue la variedad con la producción más baja durante todo el periodo (Figura 8); teniendo su mejor rendimiento en el nivel superior.

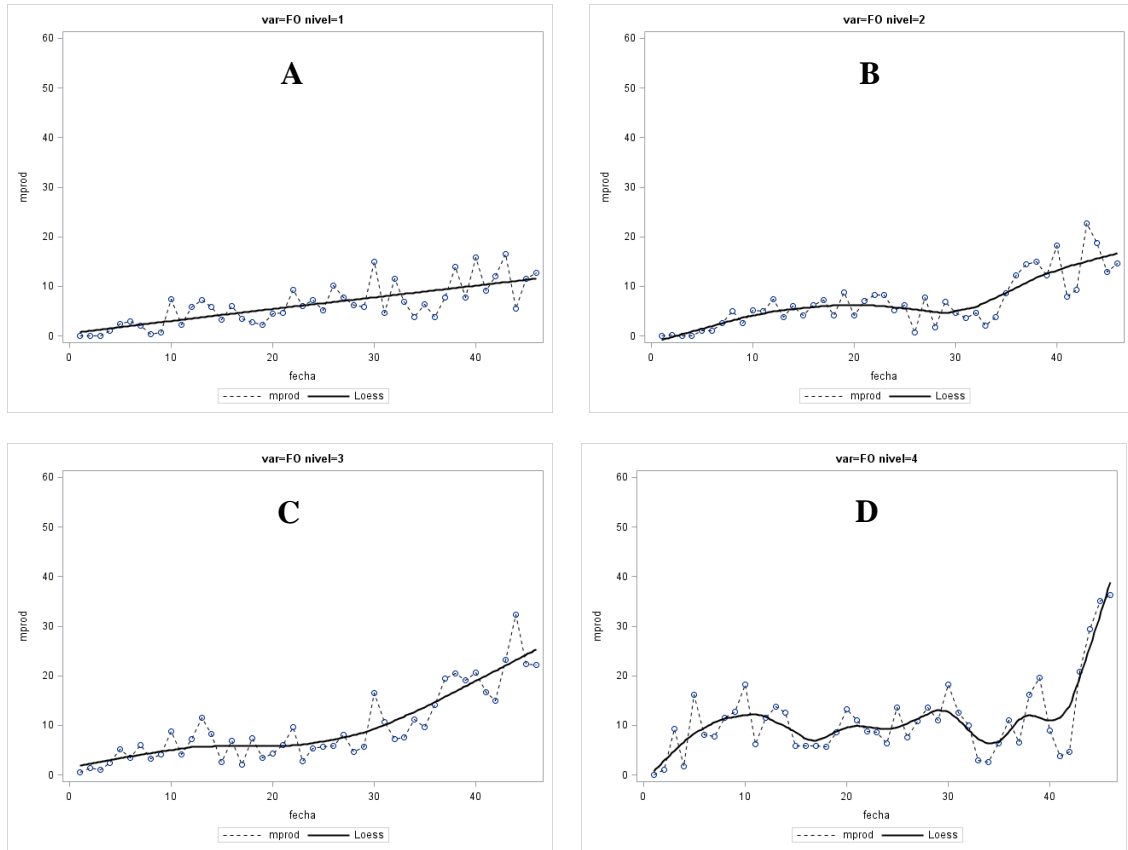


Figura 8. Rendimiento de la variedad Fortuna en diferentes niveles: a) 1.00 m, b) 1.20 m, c) 1.40 m y d) 1.80 m, en cada cosecha en el periodo diciembre-junio; cada punto representa el rendimiento promedio en cada cosecha.

Pico de pájaro tuvo una producción similar en los niveles 1.00 m, 1.20 m y 1.40 m (Figura 9) con dos picos de producción ligeramente más retrasados que los de Albión, Camino Real y Festival, presentándose a finales del mes de enero y abril; en el nivel 1.80 m se tuvo un rendimiento inferior al de las otras variedades.

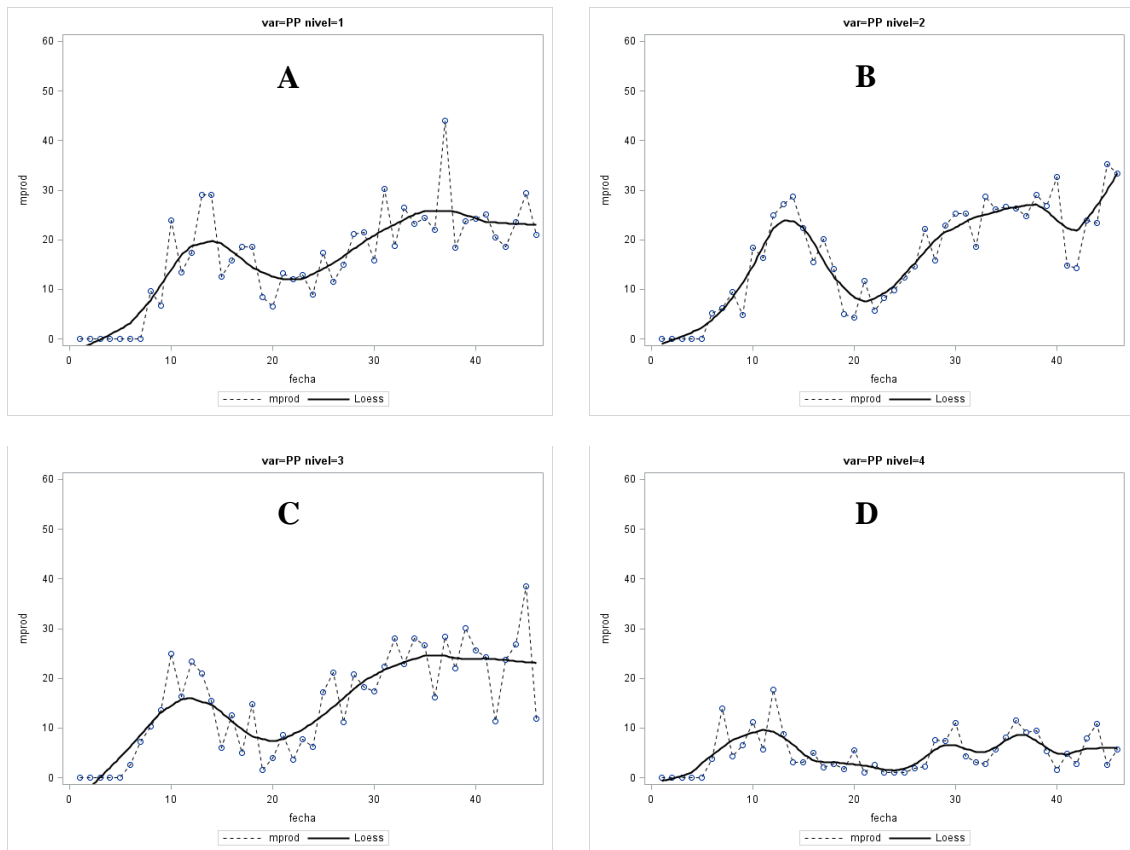


Figura 9. Rendimiento de la variedad Pico de Pájaro en diferentes niveles: a) 1.00 m, b) 1.20 m, c) 1.40 m y d) 1.80 m, en cada cosecha en el periodo diciembre-junio; cada punto representa el rendimiento promedio en cada cosecha.

San Andreas (Figura 10) no presentó tendencias similares en los diferentes niveles; en los niveles 1.00 m, 1.20 m y 1.40 m mostró tres picos de producción en los meses de enero, marzo y junio; el nivel 1.80 m contrasta con una menor producción, con picos al inicio y final del periodo.

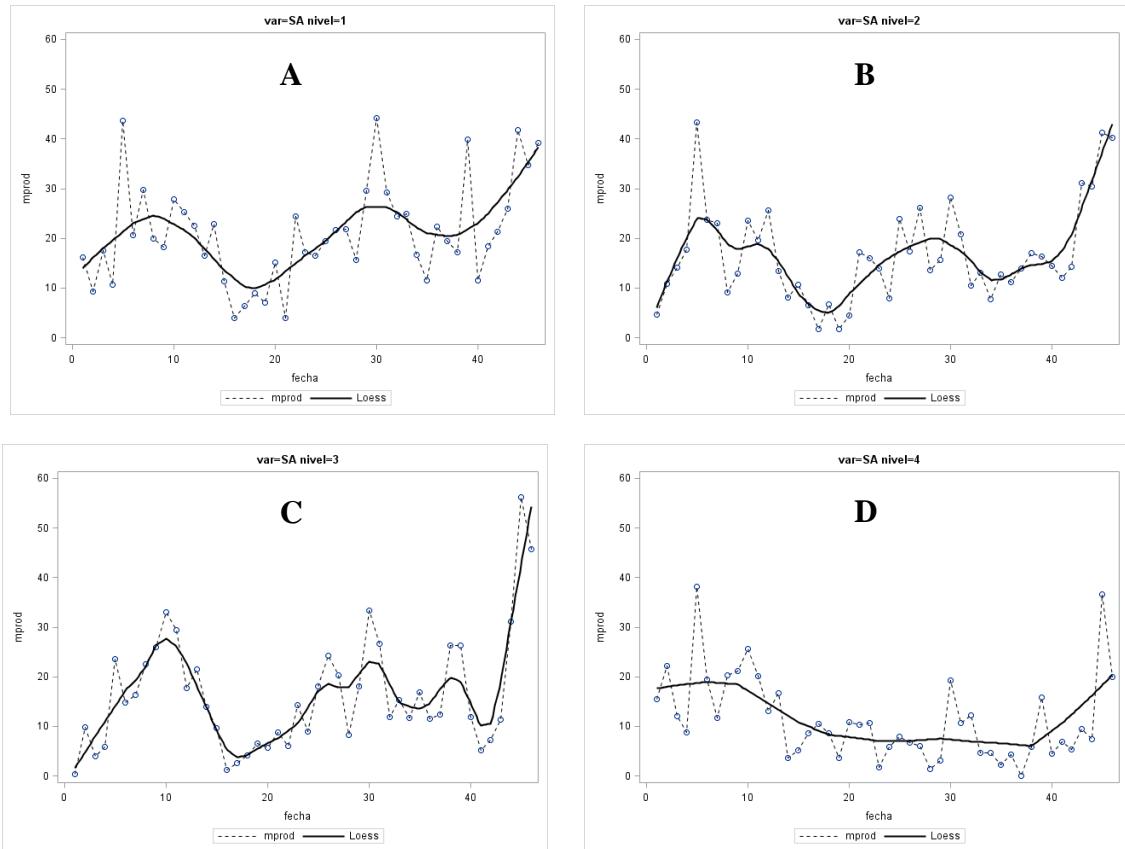


Figura 10. Rendimiento de la variedad San Andreas en diferentes niveles: a) 1.00 m, b) 1.20 m, c) 1.40 m y d) 1.80 m, en cada cosecha en el periodo diciembre-junio; cada punto representa el rendimiento promedio en cada cosecha.

4.3. Calidad de Fruto

Las pruebas de F para variables relacionadas con calidad de fruto se presentan en el Cuadro 8. Hay efecto significativo del factor niveles en las variables diámetro ecuatorial (DE), diámetro polar (DP) y sólidos solubles totales (SST). El factor variedades presentó efecto significativo para todas las variables, excepto el ángulo de tono (Hue). En la interacción variedad por nivel se mostró significancia en el porcentaje de ácido cítrico (AT), peso promedio de fruto (PPF) y el índice de sabor (IS).

Cuadro 8. Pruebas de F para variables de calidad del fruto en variedades y niveles.

F.V.	G.L.	Variables de calidad del fruto										
		DE (cm)	DP (cm)	PPF (g)	L	Croma	Hue	SST	pH	Firmeza (N)	AT	IS
Bloque	2	2.58	1.03	11.75*	4.29	0.34	7.37	3.18	2.69	0.89	1.25	3.14
Nivel	3	40.40*	9.59*	115.41*	0.24	0.54	0.18	17.52*	1.05	7.58	4.73	0.73
Var	5	40.92*	60.28*	186.94*	25.47*	84.30*	10.19	30.27*	21.36*	115.65*	784.77*	85.68*
Var*Nivel	15	2.58	1.53	4.05*	1.00	0.87	0.97	1.00	1.84	1.06	105.04*	8.38*

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación, G.L. = Grados de Libertad, DE = Diámetro Ecuatorial, DP = Diámetro Polar, L = Luminosidad, Croma = Pureza de color, Hue = Ángulo de tono, SST = Sólidos solubles totales, pH = Acidez del fruto, Firmeza = Firmeza de fruto, AT = Acidez Titulable, PPF = Peso Promedio del Fruto, IS = Índice de Sabor.

Los resultados presentados en el Cuadro 9 muestran que considerando el diámetro polar, diámetro ecuatorial y el peso de fruto Albión sobresale con los frutos de mayor tamaño (7.9 g), seguida por Camino Real (7.3 g); en contraste, Fortuna tuvo los frutos más pequeños (5.3 g). En cuanto a los componentes de color, luminosidad y pureza de color, las variedades San Andreas y Fortuna fueron las más sobresalientes con los mejores valores para estos caracteres. El valor más alto de sólidos solubles totales lo presentó Festival (7.6), y el menor Pico de Pájaro (6.2). En cuanto al pH el valor más alto (3.8) lo tuvo Pico de Pájaro, y el más bajo San Andreas (3.64). Albión tuvo el porcentaje de ácido cítrico más alto en sus frutos (1.1098); las variedades Albión y San Andreas que tuvieron un pH bajo, presentaron un porcentaje de ácido cítrico alto. Para firmeza de fruto las variedades Festival y Fortuna presentaron los valores más elevados (3.81 y 3.66, respectivamente) contrastando con Pico de Pájaro que tuvo los frutos con menor firmeza (2.23 N); el mayor índice de sabor lo presentó Festival con 8.26,

mientras que el menor valor lo tuvo San Andreas con 5.97. Martínez-Soto *et al.* (2008) evaluaron variedades de fresa a campo abierto y encontraron que Camino Real y Albión tuvieron los frutos con mayor tamaño y peso; Festival es una de las variedades con mayor contenido de sólidos solubles totales (Martínez-Bolaños *et al.*, 2008; SAGARPA 2014), Martínez-Soto *et al.* (2008) reportaron que Albión fue la variedad con mayor porcentaje de ácido cítrico; con relación a Firmeza del fruto Martínez-Soto *et al.* (2008) reportó valores de 2 a 3 N en la variedad Festival, valores inferiores a los encontrados en este estudio y que son apropiados para una mejor vida de anaquel. En los meses más calurosos Festival mostró ser la variedad con el mayor índice de sabor (Martínez-Bolaños *et al.*, 2008).

Cuadro 9. Comparación de medias para variables de calidad de fruto entre variedades.

Var	Variables de calidad del fruto									
	DE (cm)	DP (cm)	L	Croma	SST	pH	Firmeza (N)	AT	PPF (g)	IS
AL	2.33	3.81	27.9336	28.5601	7.0	3.64	2.93	1.1098	7.9	6.36
	A	A	B	A	B	C	C	A	A	C
CR	2.32	3.63	25.8402	21.9617	6.9	3.70	3.41	0.9679	7.3	7.22
	A	B	B	C	BC	B	B	D	B	B
FE	2.13	3.50	28.3044	26.0505	7.6	3.69	3.81	0.9244	5.7	8.26
	B	BC	B	B	A	B	A	E	D	A
FO	1.95	3.19	28.1078	30.0598	6.5	3.74	3.66	1.0587	5.3	6.18
	C	DE	B	A	CD	AB	AB	C	E	C
PP	2.13	3.06	28.3053	26.7020	6.2	3.80	2.23	0.8136	5.6	6.71
	B	E	AB	AB	D	A	D	F	DE	BC
SA	2.26	3.33	30.3796	30.5249	6.5	3.63	3.30	1.0921	6.7	5.97
	A	CD	A	A	CD	C	B	B	C	C

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$), AL = Albión, CR = Camino Real, FE = Festival, FO = Fortuna, PP = Pico de Pájaro, SA = San Andreas, DE = Diámetro Ecuatorial, DP = Diámetro Polar, L = Luminosidad, Croma = Pureza de color, SST = Sólidos solubles totales, pH = Acidez del fruto, Firmeza = Firmeza de fruto, AT = Acidez Titulable, PPF = Peso Promedio del Fruto, IS = Índice de Sabor.

La comparación de medias para variables de calidad de fruto entre niveles (Cuadro 10) muestra el promedio de las seis variedades en cada nivel; considerando el diámetro ecuatorial, diámetro polar y peso promedio de fruto, el nivel de 1.00 m, sobresale con los frutos de mayor tamaño y peso (7.3 g), en contraste las plantas colocadas a 1.80 m tuvieron los frutos más pequeños con menor peso (5.3 g); los valores más altos de sólidos solubles totales (7.2) lo presentaron las plantas a mayor altura 1.80 m, y los más bajos (6.4) se encontraron en las plantas del nivel inferior; esto es similar a los resultados de Furlani y Fernández (2007).

Cuadro 10. Comparación de medias para variables de calidad de fruto entre niveles.

Nivel (m)	Variables de calidad de fruto			
	DE (cm)	DP (cm)	SST	PPF (g)
1.00	2.29 A	3.48 A	6.4 B	7.3 A
1.20	2.27 A	3.53 A	6.5 B	6.7 B
1.40	2.20 B	3.43 A	6.9 A	6.4 C
1.80	1.99 C	3.23 B	7.2 A	5.3 D

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha = 0.05$), DE = Diámetro Ecuatorial, DP = Diámetro Polar, SST = Sólidos solubles totales, PPF = Peso Promedio del Fruto.

La Figura 11, muestra que los valores de las variables de calidad de fruto diámetro ecuatorial (DE), diámetro polar (DP) y peso promedio del fruto (PPF), tienden a disminuir conforme las plantas fueron colocadas a un nivel más elevado, en contraste con los sólidos solubles totales (SST) que mostraron una tendencia a aumentar con el niveles superior.

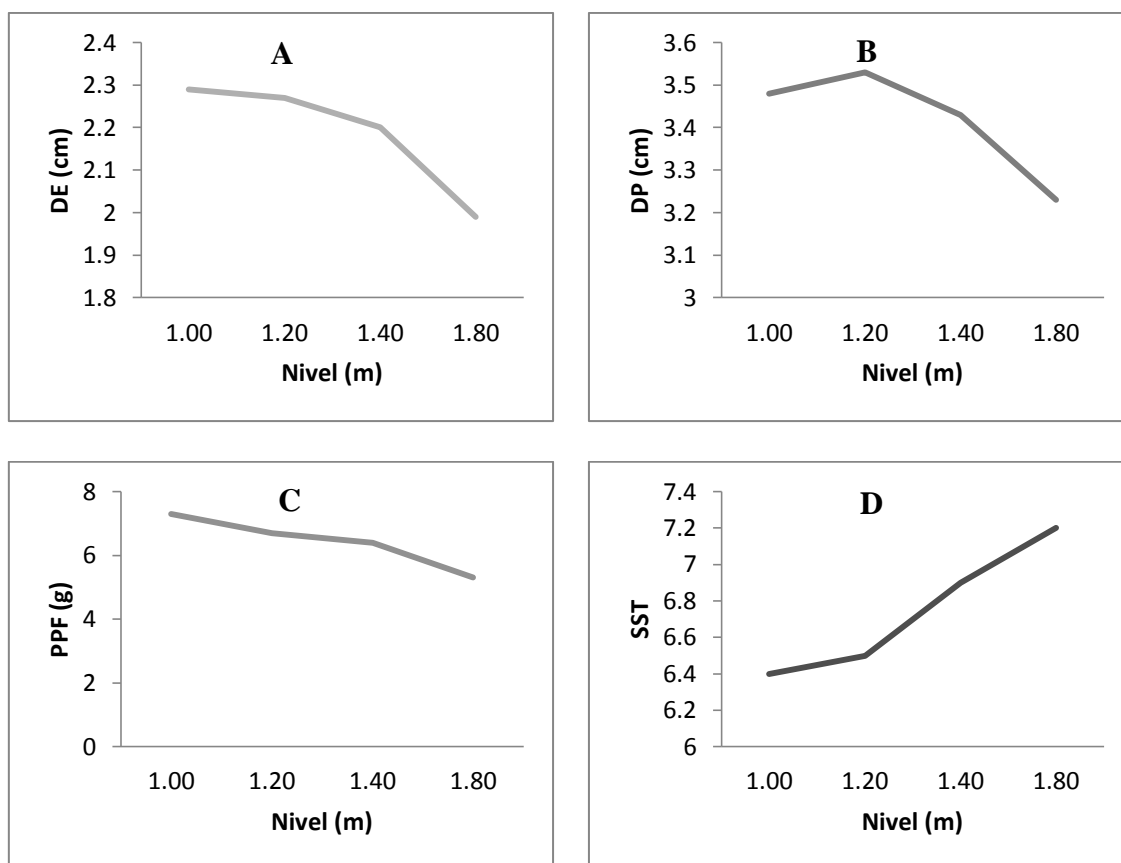


Figura 11. Promedio de las seis variedades en cada nivel de las variables de calidad de fruto a) diámetro ecuatorial (DE), b) diámetro polar (DP), c) peso promedio del fruto (PPF) y d) sólidos solubles totales (SST).

En la Figura 12 se muestra la correlación que existe entre la acumulación de sólidos solubles totales y la altura a la que se colocaron las plantas.

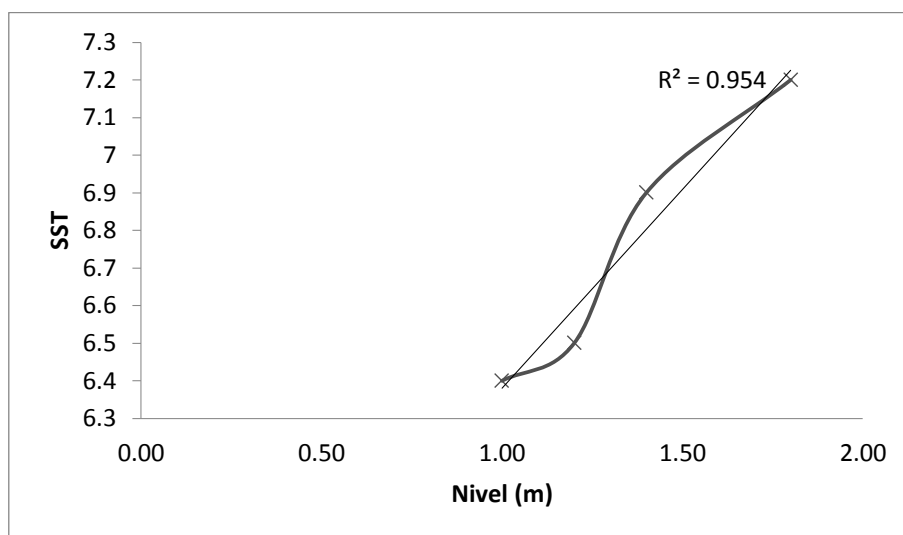


Figura 12. Correlación entre la acumulación de sólidos solubles totales y la altura

En la Figura 13 se observa la interacción del porcentaje de ácido cítrico (AT) en el fruto de las variedades por los niveles o alturas; San Andreas obtuvo los valores más elevados, bajando en el nivel más alto. Las variedades Albión y Fortuna presentaron una tendencia similar aumentando sus valores conforme las plantas se colocaban a un nivel más elevado. Pico de Pájaro, en contraste tuvo los valores más bajos conforme se estableció a alturas mayores. Martínez-Bolaños *et al.* (2008) encontraron que los frutos de seis variedades cosechados en diciembre tuvieron valores de AT más altos (1.0 a 1.4 %) que en febrero (0.24 a 0.46 %); los resultados encontrados en esta investigación variaron de 0.8 a 1.1 %, los cuales son superiores al valor aceptable de 0.8 % señalado por Kader (1999).

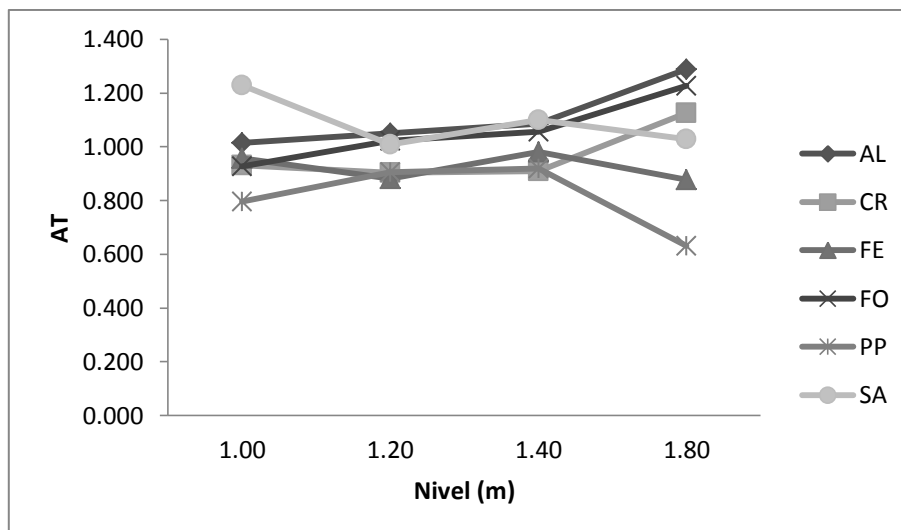


Figura 13. Interacción del porcentaje de ácido cítrico en el fruto (AT) de las seis variedades Albión (AL), Camino Real (CR), Festival (FE), Fortuna (FO), Pico de Pájaro (PP) y San Andreas (SA) por niveles.

La interacción del peso promedio de fruto (PPF) de las variedades con los niveles se presenta en la Figura 14; todas las variedades presentaron una tendencia similar a disminuir sus valores conforme las plantas se colocaron en niveles más elevados, siendo Albión la variedad con frutos de mayor peso. Fortuna, a pesar de mostrar un tamaño de fruto más estable entre los niveles, presentó los frutos con menor peso. Estos resultados coinciden con los encontrados por Durner (1999), donde las plantas colocadas a mayor altura producen frutos más pequeños.

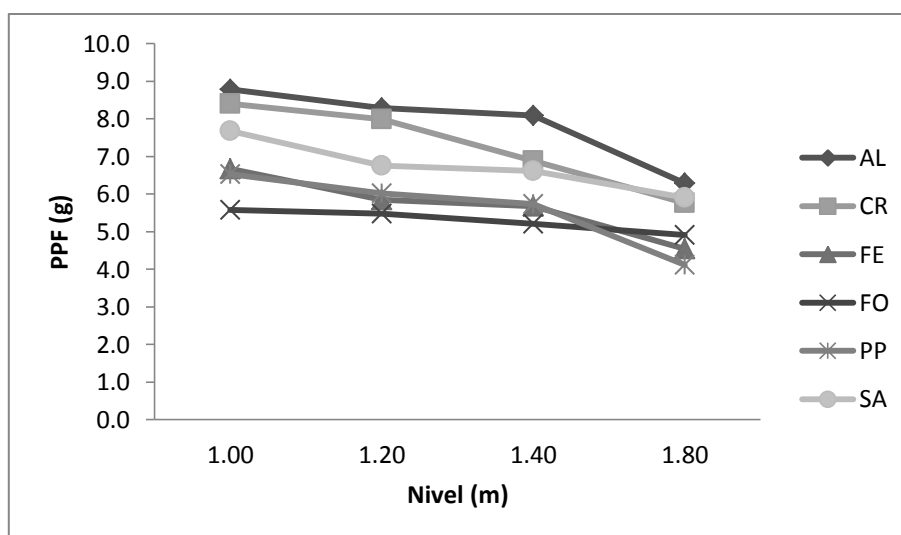


Figura 14. Gráfica de la interacción del peso promedio del fruto (PPF) de las seis variedades Albión (AL), Camino Real (CR), Festival (FE), Fortuna (FO), Pico de Pájaro (PP) y San Andreas (SA) por niveles.

La figura 15 muestra la interacción del índice de sabor (IS) de las variedades con los niveles; Festival y San Andreas presentaron una tendencia similar a aumentar los valores conforme se colocaron las plantas a una mayor altura, siendo Festival la variedad con el mayor índice de sabor y en contraste San Andreas presentó los menores valores; Camino Real mostró valores más elevados que Festival en los primeros dos niveles disminuyendo conforme aumentó la altura; Pico de Pájaro, Albión y Fortuna presentaron una tendencia similar a disminuir sus valores a mayores alturas.

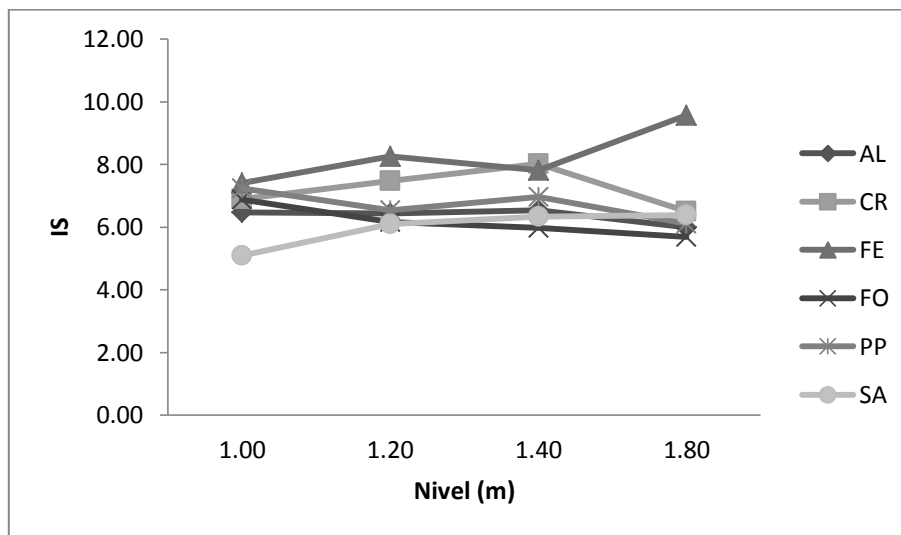


Figura 15. Grafica de la interacción del índice de sabor (IS) de las variedades por niveles.

4.4. Temperaturas de las hojas y frutos

Las pruebas de F para las temperaturas promedio tomadas en el período del 15 al 17 de octubre de 2014 de hojas y frutos de los tratamientos, muestran que hubo efecto significativo de nivel en todas las variables, con excepción de la temperatura del fruto registrada al medio día.

Cuadro 11. Pruebas de F para temperaturas promedio en el período del 15 al 17 de octubre de 2014 de las hojas y de los frutos a diferentes horas del día: amanecer (6:30-7:00 h), medio día (12:00-12:30 h) y en la noche (21:00-21:30 h), para variedades y niveles.

F.V.	G.L.	Pruebas de F					
		THam	THmd	THpm	TFam	TFmd	TFpm
Bloque	2	69.75	5.22	77.59	32.05	2.27	1.52
Nivel	3	151.17*	7.39*	262.42*	49.36*	1.88	15.81*
Var	5	2.08	2.77	1.47	1.06	2.00	0.79
Var*Nivel	15	2.96	0.52	1.11	1.22	1.69	0.77

*significativo = 0.05, F.V. = Fuente de Variación, G.L. = Grados de Libertad, THam = Temperatura de la hoja al amanecer, THmd = Temperatura de la hoja al medio día, THpm = Temperatura de la hoja en la noche, TF am = Temperatura del fruto al amanecer, TFmd = Temperatura del fruto al medio día, TFpm = Temperatura del fruto en la noche.

La prueba de medias de todas las variedades en cada nivel de las temperaturas de hojas y frutos, muestra que hubo diferencias significativas entre niveles (Cuadro 12); la temperatura de las hojas al amanecer (6:30-7:00 h) en el nivel cuatro fue significativamente menor (5.8 °C), contrastando con la temperatura del nivel inferior (8.4 °C). Las plantas en este nivel también tuvieron menores temperaturas de las hojas en la noche (21:00-21:30 h) (9.4 °C), en contraste con el nivel inferior (15.4 °C) y también las más elevadas al medio día (12:00-12:30 h) (22.4 °C). Las temperaturas de los frutos al amanecer y en la noche fueron significativamente menores a las que presentaron en los otros niveles. Las plantas en el nivel más alto presentaron las temperaturas extremas en hojas y frutos; considerando que este patrón de temperaturas fue similar durante el periodo de la investigación, esto podría explicar por qué las plantas en ese nivel fueron menos productivas y con menor calidad de fruto. Respecto a

esta última característica, Caso (2010) y Furlani y Fernández (2007) encontraron un comportamiento similar, pero con mayor rendimiento en plantas ubicadas a 1.75 m de altura, en tubos de polietileno.

Cuadro 12. Comparación de medias para temperaturas promedio en el período del 15 al 17 de octubre de 2014 de las hojas y de los frutos a diferentes horas del día: amanecer (6:30-7:00 h), medio día (12:00-12:30 h) y en la noche (21:00-21:30 h), para variedades y niveles.

Nivel (m)	THam	THmd	THpm	TFam	TFpm
1.00	8.4 A	19.6 B	15.4 A	9.3 A	16.0 A
1.20	8.1 A	19.0 B	15.0 A	9.0 AB	15.7 A
1.40	7.6 A	20.3 AB	14.1 A	7.8 B	15.2 A
1.80	5.8 B	22.4 A	9.4 B	5.6 C	10.1 B

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha = 0.05$), THam = Temperatura de la hoja al amanecer, THmd = Temperatura de la hoja al medio día, THpm = Temperatura de la hoja en la noche, TF am = Temperatura del fruto al amanecer, TFmd = Temperatura del fruto al medio día, TFpm = Temperatura del fruto en la noche.

En la Figura 16 se muestran las temperaturas del aire dentro del invernadero en el periodo de febrero a marzo y mayo del 2014. En febrero se presentaron temperaturas inferiores a 0 °C que no afectaron al cultivo, debido a su tolerancia al frío (Nestby y Bjorgum, 1999; Rajashekar *et al.*, 1999; NDong *et al.*, 1997); por el contrario, en los meses de marzo y mayo se presentaron temperaturas superiores a los 42 °C sin que se observaran daños a las plantas y frutos; no obstante, algunos autores señalan que estas temperaturas altas pueden afectar la floración y fructificación del cultivo, así como las variables de calidad de fruto (Wang y Camp, 2000).

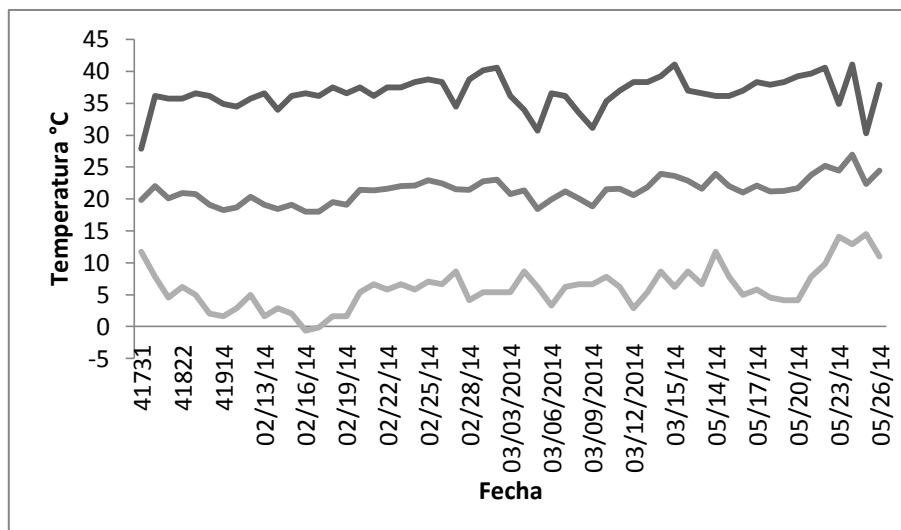


Figura 16. Temperaturas (mínimas, máximas y medias diarias) del aire en el interior del invernadero en los meses febrero, marzo y mayo del 2014.

En la Figura 17 se presentan las temperaturas de las hojas, frutos y aire del invernadero, en el periodo del 15 al 17 de octubre de 2014. Se observa que la temperatura del aire fue más alta en las diferentes horas del día. Las hojas tuvieron una temperatura más baja que la del aire siendo más grande la diferencia, de aproximadamente 10 °C, al medio día. Los frutos tuvieron una temperatura mayor que las hojas, en aproximadamente un grado. La temperatura más baja de las hojas se explica porque para la transpiración de las hojas se requieren 580 calorías por gramo de agua, lo que se suma al intercambio de energía como flujo de calor sensible y a la emisión de energía de onda larga por la hoja (cita). Estas diferencias de temperaturas son menores al amanecer y en la noche.



Figura 17. Temperaturas promedio de las hojas y frutos y aire y del invernadero en diferentes horas del día: amanecer (6:30-7:00 h), medio día (12:00-12:30 h) y en la noche (21:00-21:30 h).

4.5. Consumo de agua

En cuanto al agua, se consumieron 1056 L de agua cada 15 días para regar un total de 1100 plantas, teniendo un gasto aproximado de 16 mL/min/planta, consumiéndose así 14.336 L/planta durante el periodo experimental. En la Figura 18A se observa el uso del agua basado en la relación entre el rendimiento acumulado por planta y el agua total requerida para producir los frutos frescos, donde se muestra que las variedades Festival y Albión son las más eficientes con 9.8 g L^{-1} , contrastando con Fortuna que tuvo una menor eficiencia (3.4 g L^{-1}). A nivel mundial se reporta que en promedio se requieren $276 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ o 276 L kg^{-1} de fruta fresca y en México este requerimiento se eleva a 361 L kg^{-1} (SAGARPA-SIAP, 2010); estos requerimientos contrastan con los obtenidos en el presente trabajo, ya que con este sistema las variedades Festival y Albión requirieron 102 L kg^{-1} de fruta fresca cosechada; Fortuna fue la menos eficiente, requiriendo 296 L kg^{-1} (Figura 18B).

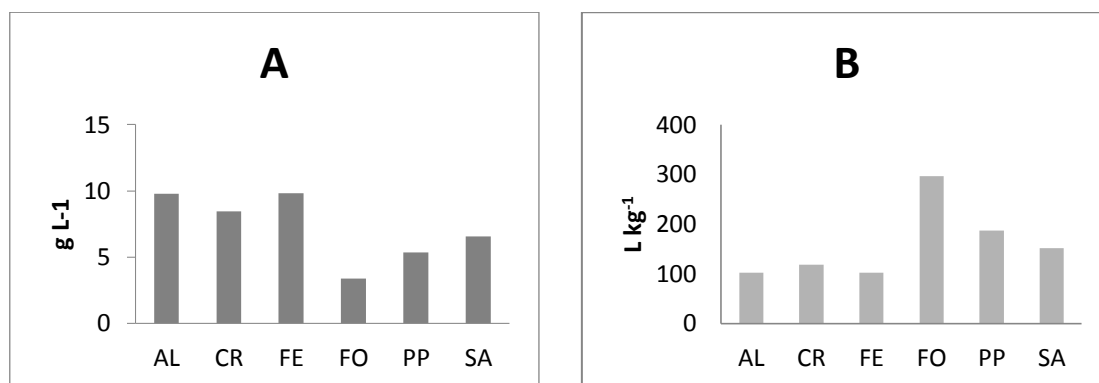


Figura 18. Uso del agua de seis variedades de fresa (Albión (AL), Camino Real (CR), Festival (FE), Fortuna (FO), Pico de Pájaro (PP) y San Andreas (SA)). A) gramos de fruta fresca por planta por litro de agua, B) litros de agua por kilogramo de fruta fresca., en el periodo experimental.

V. CONCLUSIONES

Los niveles o alturas a las que fueron colocadas las plantas afectaron la producción y la calidad de los frutos de las variedades estudiadas. Las plantas en el nivel más alto (1.80 m) fueron las más afectadas.

La variedad Albión fue la más productiva, con frutos de buen tamaño, seguida por Camino Real, con las plantas de ambas variedades colocadas a 1.00 o 1.20 m de altura. Festival presentó un alto rendimiento, pero con frutos más chicos que las variedades anteriores.

El sistema utilizado resultó eficiente en el uso del agua ya que las variedades Festival y Albión requirieron 102 litros de agua por kilogramo de fruta fresca cosechada.

Los envases reciclados de PET fueron útiles como contenedores para las plantas.

VI. LITERATURA CITADA

- Bailey L. (1947)** "The Standard Encyclopedia of Horticulture". Volumén 3, The Mac Millian Co. 1271 p.
- Barrales D. S., M. Livera M., V. A. Gonzalez H., C. Peña V., J. Kohashi S. y F. Castillo G. (2002)** Relaciones térmicas en el sistema suelo-planta-atmósfera durante la incidencia del fenómeno de enfriamiento o helada. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:289-297.
- Bish E., D. Cantliffe, C. Chandler (2003)** Plantlet size affects growth and development of strawberry plug transplants. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 116:105-107.
- Boland F. E. (1990)** Fruits and fruit product. Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Methods (AOAC). Helrich, K. (ed). 15th edition. VA, USA. pp. 910-911.
- Bradford E., James F. Hancock, and Ryan M. Warner (2010)** Interactions of temperature and photoperiod determine expression of repeat flowering in strawberry. *Journal of the American Society Horticultural Science* 135(2):102-107.
- Calderón Z., G. (2012)** Generación y validación de variedades mexicanas de fresa.
- Cano M. A. (2014)** Estrategias biológicas para el manejo de enfermedades en el cultivo de fresa (*Fragaria* spp.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 7(2):263-276.
- Caso, C., M. Chang, & A. Rodríguez D. (2010)** Efecto del sustrato sobre la producción de fresa en sistema de columna. Lima, Perú. *Red Hidroponía*, Boletín No 46. pp 7-12.
- Castanho R. B. & G. V. Pelisson (2011)** La importancia de los jardines en ambientes escolares, domésticos, entre otros. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium* 2(1):43-55.
- Castañeda F. (2000)** Manual Técnico de Hidroponía Popular: cultivos sin tierra. (ed). INCAP. San Salvador. SV. 3a reimpression. 67 pp.
- Chaar J. E. (2013)** Resistencia a heladas en plantas frutales. *Avances en Investigación Agropecuaria* 17(3):109-121.
- Chaidez C. (2002)** Inocuidad de frutas y hortalizas frescas: Efecto del agua contaminada. *Agua Latinoamérica* 2(3):1-4.
- Cruz C. E., M. Sandoval V., V. Haller, V. Hugo, Á. Can Chulim, & J. Sánchez E. (2012)** Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(7):1361-1373.

- Darrow G.M. (1966)** The strawberry. Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Demchak K., A. Rudisill (2006)** The mid-Atlantic berry guide for commercial growers. Penn. State College of Agricultural Sciences, *Agricultural Research and Cooperative Extension*.
- Durner, E. F. (1999)** Winter Greenhouse Strawberry Production Using Conditioned Plug Plants. *Hortscience* 34(4):615-616.
- Durner, E. F., J. A. Barden, D. g. Himlrick, and E. B. Poling (1984)** Photoperiod and temperature effects on flower and runner development in day-neutral, June bearing, and ever bearing strawberries. *Journal of the American Society Horticultural Science* 109:396-400.
- Fazla U. (2008)** Técnica de soporte suspendido en fresas. *Revista Productores de Hortalizas*. 1 de octubre.
- Flórez R., R. Mora (2010)** Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) producción y manejo poscosecha. *Corredor Tecnológico Agroindustrial y Cámara de Comercio de Bogotá*.
- Furlani P. R. y F. Fernández J. (2007)** Hidroponía vertical para la producción de fresa. Lima-Perú. *Red Hidroponía*, Boletín No 36. pp 8-14.
- García E. (1973)** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía de la UNAM. México. 245 pp.
- García M. A. D., & G. M. Praderas C. (2010)** Influencia del Cloruro de Calcio y de un tipo de empaque sobre las propiedades fisicoquímicas y la textura de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) durante el almacenamiento. *Revista Facultad Nacional de Agricultura de Medellín* 63(1):5417-5427.
- Giampieri F., S. Tulipani, J. M. Alvarez S., J. L. Quiles, B. Mezzetti y D. Battino (2012)** The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition* 28(1):9-19.
- Houde M., S. Dallaire, D. N'Dong and F. Sarhan (2004)** Overexpression of the acidic dehydrin WCOR410 improves freezing tolerance in transgenic strawberry leaves. *Plant Biotechnology Journal* 2(5):381-387.
- INEGI (2013)** Instituto Nacional de Estadística y Geografía Módulos Ambientales de Agua Potable y Saneamiento, y el de Residuos Sólidos Urbanos como productos del marco del Subsistema Nacional de Información Geográfica y del Medio Ambiente (SNIGMA). Disponible en línea en <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/ambiente/basura.aspx?tema=T> (Consulta: 12 Noviembre de 2014).

- Inouye, D. W. (2000)** The ecological and evolutionary significance of frost in the context of climate change. *Ecology Letters* 3(5):457-463.
- Jiménez F., M. (1991)** El cultivo de tomates bajo invernadero de malla. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros* 66:6-19.
- Jiménez S. R. (2010)** La calidad del agua de riego en los cultivos de exportación. El caso de la fresa en el módulo IV del distrito de riego 061, Zamora, Michoacán. Primer Congreso Red de Investigadores Sociales Sobre Agua, 18 y 19 de marzo de 2010. 24 p.
- Kader A. A. (1997)** Fruit maturity, ripening, and quality relationships. International Symposium Effect of Pre-and Post Harvest Factors on Storage of Fruit 485:203-208.
- Kessel D. A. (2012)** Mejora genética de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.), a través de métodos biotecnológicos. *Cultivos Tropicales* 33(3):34-41.
- López P. L., R. Cárdenas N., P. Lobit, O. Martínez C., O. Escalante L. (2005)** Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnica Mexicana* 28(2):171-174.
- Lyons, J.; D. Graham, and J. Raison (1979)** The plant membrane in response to low temperature: an overview. In Lyons, J.; D. Graham, and J. Raison (eds.). Low temperature stress in crop plants. The role of membrane. Proceeding of an international seminar. Academic press USA. pp. 1-24.
- Martínez B. M., D. Nieto A., D. Téliz O., J. Rodríguez A., M. T. Martínez D., H. Vaquera H., y O. Carrillo M. (2008)** Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(2):113-119.
- Martínez T. J. J., H. M. León M. (2004)** Producción de fresa en invernadero. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coah, México, 13, 14 y 15 de octubre. pp 123-134.
- Martínez S. G., J. Mercado F., M. López O., & B. Z. Prieto V. (2008)** Propiedades físicoquímicas de seis variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) que se cultivan en Guanajuato. *Revista Salud Pública y Nutrición* Vol. 8.
- Medrano E., F. J. Alonso, M. C. Sánchez G., P. Lorenzo, A. Marhuenda y P. A. Briones (2013)** La fresa como cultivo alternativo en la provincia de Almería. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Madrid, 26-29 de agosto.
- Minolta (1994)** Precise color communication. Tokyo, Japan. 49 p.

- Navarro C. J. A. (2001)** Sistema de cultivo sin suelo en soporte suspendido. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros* 151:37-42.
- NDong C., F. Ouellet, M. Houde and F. Sarhan (1997)** Gene Expression during Cold Acclimation in Strawberry. *Plant Cell Physiol* 38(7):863-870.
- Nestby R. and R. Bjorgum (1999)** Freeze injury to strawberry plants as evaluated by crown tissue browning, regrowth and yield parameters. *Scientia Horticulturae* 81(3):321-329.
- Paranjpe, A. V., D. J. Cantliffe, P. J. Stoffella, E. M. Lamb, & C. A. Powell (2008)** Relationship of plant density to fruit yield of 'Sweet Charlie' strawberry grown in a pine bark soilless medium in a high-roof passively ventilated greenhouse. *Scientia Horticulturae* 115(2):117-123.
- Pérez de Camaraco, M., J. Crew, N. Battey (2005)** Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de la fresa cv. Elsanta. *Bioagro* 17(1):11-15.
- Pérez de Camargo, M., M. Ojeda, M. Millogon, A. Gimenez (2013)** Efecto de diferentes sustratos y ácido giberelico sobre el crecimiento, producción y calidad de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Camarosa. *Bioagro* 25(1):31-38.
- Pimentel J. L., M. A. Velázquez (2010)** Manual técnico del cultivo de fresa en el valle de Zamora-Jacona y Tangancicuaro, Michoacán. Consejo Nacional de la Fresa, A.C. Primera edición. 69 p.
- Rajashekar C. B., H. Zhou, K. B. Marcum and O. Prakash (1999)** Glycine betaine accumulation and induction of cold tolerance in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) plants. *Plant Science* 148(2):175-183.
- Rallo, L., R. Fernández (1999)** Diccionario de Ciencias Hortícolas. *MundiPrensa, Madrid*.
- Ramírez, M., Guadalupe, L., Mariles, F., Arturo, O., & García Jiménez, F. (2001)** Heladas. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 39 p.
- Restrepo D. A. M, M. Cortés R., H. Suárez M. (2008)** Evaluación sensorial de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) y uchuva (*Physalis peruviana* L.) fortificadas con vitamina E. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 61(2):4667-4675.
- Rubio S. A., A. M. Alfonso, C. M. Grijalba, M. M. Pérez (2014)** Determinación de los costos de producción de la fresa cultivada a campo abierto y bajo macrotúnel. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 8(1):67-79.
- SAGARPA (2011)** Declaratoria de Desastre Natural en el Sector Agropecuario, Acuícola y Pesquero a consecuencia de helada. Diario Oficial de la Federación.

- SAGARPA (2014)** Variedades de fresa con potencial de producción en el Estado de México. Disponible en línea en http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/15/2013/anuales/anu_555-6-2014-05-4.pdf (Consulta: 16 Febrero del 2015).
- SAGARPA-SIAP (2010)** Agua Virtual en México. Disponible en línea en <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Voll.pdf> (Consulta: 15 noviembre de 2014).
- SAGARPA-SIAP (2014)** Producción agrícola de la fresa. Disponible en línea en <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: 13 noviembre de 2014).
- SAGARPA-SPF (2013)** Comité de la Agroindustria y Productores de la Fresa, A.C. Programa de desarrollo de capacidades, innovación tecnológica y extensionismo rural 2013. Sistema Producto Fresa. Zamora, Michoacán.
- Sánchez, R. G. (2008)** La red valor fresa: sistema de inteligencia de mercados. Fundación Produce Michoacán. 145 p.
- Sanchez del C., F. y R. Escalante (1989)** Hidroponía. Un sistema de producción. UACH. Chapingo. México 194 p.
- Santos, B. M., & H. A. Obregón (2009)** Prácticas culturales para la producción comercial de fresas en Florida. Departamento Horticultural Sciences, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida. Universidad de Florida. 15p.
- Sawyer R. y H. Egan (2004)** Composición y análisis de alimentos de pearson. Ed. CECSA" Sexta edición. México.
- SAS Institute (2002-2010)** Statistical analysis system. Release 9.3. Cary, NC, USA.
- Seeling E.A (1975)** Fruit an Vegetables Facts and Pointers: Strawberries. United Fresh an Fruit and Vegetables Ass. (Ed.) U.S.A.
- SEMARNAT (2015)** Fomento Ambiental. Residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Disponible en línea en <http://www.semarnat.gob.mx/temas/residuos-solidos-urbanos>. (Consulta: 22 enero de 2015).
- Snyder, R. L., & J. P. de Melo A. (2010)** Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Universidad de California, Ciencia Atmosférica. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma 1:257.
- Steiner, A.A. (1984)** The universal nutrient solution. Proc. Sixth International Congress on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands. pp. 633-649.
- Tulcán E., C. Pérez, W. Pacheco, G. Cortés, O. Cárdenas, L. Monroy (2013)** Taxonomía, análisis proximal y cuantificación de vitamina c en durazno y fresa de la Campiña Boyacense. Memorias del VIII Encuentro de la Facultad de

Ciencias Uptc y XVII Jornada de Investigación. Tunja, Colombia 2-3 de octubre.

Voca S., L. Jakobek, J. Druzic, Z. Sindrak, N. Dobricevic, M. Seruga & A. Kovac (2009) Quality of strawberries produced applying two different growing systems. *CyTA. Journal of Food* 7(3):201-207.

Wang S. Y. & , M. J. Camp (2000) Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae* 85(3):183-199.

Yuan B. Z., J. Sun & S. Nishiyama (2004) Effect of drip irrigation on strawberry growth and yield inside a plastic greenhouse. *Biosystems Engineering* 87(2):237-245.

Zapata P., J. M. Valverde, F. Guillén, G. Bailén, S. Castillo, D. Martínez-Romero, D. Valero & M. Serrano (2005) Actividad antioxidante en diferentes frutos habituales en la dieta mediterránea. Departamento de Tecnología de Alimentos. España, Universidad Miguel Hernández. pp 259-262.

VII. APÉNDICE

Cuadro A1. Pruebas de F del análisis del rendimiento total o acumulado (RA) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	1.52	0.2240
Nivel	3	106	49.31	<.0001
Var	5	106	204.59	<.0001
Var*Nivel	15	106	13.16	<.0001

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A2. Pruebas de F del análisis del número de frutos total o acumulado (NFA) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	1.01	0.3673
Nivel	3	106	12.83	<.0001
Var	5	106	121.09	<.0001
Var*Nivel	15	106	7.98	<.0001

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A3. Pruebas de F del análisis del rendimiento por planta (RPTA) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	1.48	0.2326
Nivel	3	106	48.87	<.0001
Var	5	106	201.86	<.0001
Var*Nivel	15	106	12.74	<.0001

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A4. Pruebas de F del análisis del número de frutos por planta (NFPTA) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	1.01	0.3672
Nivel	3	106	12.83	<.0001
Var	5	106	121.14	<.0001
Var*Nivel	15	106	7.99	<.0001

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A5. Comparación de medias de las variedades entre niveles para el rendimiento por planta (RPTA) en el periodo diciembre-junio.

Variedades	Niveles (m)			
	1.00	1.20	1.40	1.80
AL	155.1 AB	144.0 ABC	161.4 A	101.1 DEF
CR	175.2 A	141.5 ABDC	115.2 CDEF	52.5 GH
FE	166.4 A	141.8 ABC	149.0 ABC	105.2 DEF
FO	35.9 H	39.1 GH	54.5 GH	64.0 GH
PP	94.2 EFG	97.6 DEFG	87.3 EFG	28.5 H
SA	120.9 BCDE	96.2 DEFG	94.5 EFG	64.8 FGH

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$), AL = Albión, CR = Camino Real, FE = Festival, FO = Fortuna, PP = Pico de Pájaro, SA = San Andreas.

Cuadro A6. Comparación de medias de las variedades entre niveles para el número de frutos por planta (NFPTA) en el periodo diciembre-junio.

Variedades	Niveles (m)			
	1.00	1.20	1.40	1.80
AL	18 EF	17 EF	20 CDE	16 EFG
CR	21 BCDE	18 DEF	17 EFG	9 HIJ
FE	25 AB	24 ABC	26 A	23 ABCD
FO	6 J	7 IJ	10 HIJ	13 FGHI
PP	14 FGH	16 EFG	15 EFGH	7 IJ
SA	16 EFG	14 FGH	14 FGH	11 GHIJ

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$), AL = Albión, CR = Camino Real, FE = Festival, FO = Fortuna, PP = Pico de Pájaro, SA = San Andreas.

Cuadro A7. Comparación de medias para rendimiento de las variedades a través del tiempo en el periodo diciembre-junio.

Var	Producción (g)
AL	24.5 A
CR	21.7 B
FE	24.5 A
FO	7.7 E
PP	13.6 D
SA	16.3 C

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$)

Cuadro A8. Comparación de medias para rendimiento en los niveles a través del tiempo en el periodo diciembre-junio.

Nivel	Producción
(m)	(g)
1.00	21.7 A
1.20	19.1 B
1.40	19.2 B
1.80	12.3 C

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$)

Cuadro A9. Pruebas de F del análisis del diámetro ecuatorial del fruto (DE) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	2.58	0.0807
Nivel	3	106	40.40	<.0001
Var	5	106	40.92	<.0001
Var*Nivel	15	106	2.58	0.0025

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A10. Pruebas de F del análisis del diámetro Polar del fruto (DP) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	1.03	0.3617
Nivel	3	106	9.59	<.0001
Var	5	106	60.28	<.0001
Var*Nivel	15	106	1.53	0.1069

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A11. Pruebas de F del análisis de la Luminosidad del fruto en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	4.29	0.0162
Nivel	3	106	0.24	0.8673
Var	5	106	25.47	<.0001
Var*Nivel	15	106	1.00	0.4644

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A12. Pruebas de F del análisis de la pureza de color del fruto (Croma) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	0.34	0.7136
Nivel	3	106	0.54	0.6548
Var	5	106	84.30	<.0001
Var*Nivel	15	106	0.87	0.6010

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A13. Pruebas de F del análisis del ángulo de tono del fruto (Hue) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	7.37	0.0010
Nivel	3	106	0.18	0.9080
Var	5	106	10.19	<.0001
Var*Nivel	15	106	0.97	0.4895

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A14. Pruebas de F del análisis de los sólidos solubles totales del fruto (SST) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	3.18	0.0456
Nivel	3	106	17.52	<.0001
Var	5	106	30.27	<.0001
Var*Nivel	15	106	1.00	0.4630

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A15. Pruebas de F del análisis de la acidez del fruto (pH) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	2.69	0.0724
Nivel	3	106	1.05	0.3718
Var	5	106	21.36	<.0001
Var*Nivel	15	106	1.84	0.0378

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A16. Pruebas de F del análisis de la firmeza del fruto (Firmeza) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	0.89	0.4127
Nivel	3	106	7.58	0.0001
Var	5	106	115.65	<.0001
Var*Nivel	15	106	1.06	0.4049

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A17. Pruebas de F del análisis del porcentaje de ácido cítrico del fruto (AT) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	1.25	0.2901
Nivel	3	106	4.73	0.0039
Var	5	106	784.77	<.0001
Var*Nivel	15	106	105.04	<.0001

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A18. Pruebas de F del análisis del peso promedio del fruto (PPF) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	11.75	<.0001
Nivel	3	106	115.41	<.0001
Var	5	106	186.94	<.0001
Var*Nivel	15	106	4.05	<.0001

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A19. Pruebas de F del análisis del indicador de sabor (IS) en el periodo diciembre-junio.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	3.14	0.0474
Nivel	3	106	0.73	0.5376
Var	5	106	85.68	<.0001
Var*Nivel	15	106	8.38	<.0001

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A20. Comparación de medias de la interacción del porcentaje de ácido cítrico en el fruto (AT) de las variedades (Albi3n, Camino Real, Festival, Fortuna, Pico de Pájaro y San Andreas) por niveles.

Variedades	Niveles (m)			
	1.00	1.20	1.40	1.80
AL	1.015	1.050	1.087	1.288
	CD	CD	C	A
CR	0.931	0.904	0.910	1.126
	CDE	DE	CDE	BC
FE	0.957	0.881	0.982	0.878
	CDE	DE	CD	DE
FO	0.927	1.024	1.057	1.227
	CDE	CD	CD	AB
PP	0.798	0.906	0.919	0.632
	DE	CDE	CDE	E
SA	1.229	1.009	1.101	1.029
	AB	CD	C	CD

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$), AL = Albi3n, CR = Camino Real, FE = Festival, FO = Fortuna, PP = Pico de Pájaro, SA = San Andreas.

Cuadro A21. Comparación de medias de la interacción del peso promedio del fruto (PPF) de las variedades (Albi3n, Camino Real, Festival, Fortuna, Pico de Pájaro y San Andreas) por niveles.

Variedades	Niveles (m)			
	1.00	1.20	1.40	1.80
AL	8.8	8.3	8.1	6.3
	A	AB	AB	EF
CR	8.4	8.0	6.9	5.8
	AB	ABC	CDE	EFG
FE	6.7	5.8	5.7	4.5
	E	EFG	FG	HI
FO	5.6	5.5	5.2	4.9
	FG	FG	GH	GH
PP	6.5	6.0	5.7	4.1
	E	EF	FG	I
SA	7.7	6.8	6.6	5.9
	BCD	DE	E	EFG

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$), AL = Albi3n, CR = Camino Real, FE = Festival, FO = Fortuna, PP = Pico de Pájaro, SA = San Andreas.

Cuadro A22. Comparación de medias de la interacción del índice de sabor (IS) de las variedades (Albi3n, Camino Real, Festival, Fortuna, Pico de Pájaro y San Andreas) por niveles.

Variedades	Niveles (m)			
	1.00	1.20	1.40	1.80
AL	6.46 BC	6.44 BC	6.54 BC	6.00 C
CR	6.89 BC	7.48 AB	8.02 AB	6.51 BC
FE	7.41 AB	8.26 AB	7.82 AB	9.57 A
FO	6.88 BC	6.16 BC	5.98 C	5.69 C
PP	7.24 ABC	6.53 BC	6.96 ABC	6.11 BC
SA	5.10 C	6.09 C	6.33 BC	6.39 BC

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$), AL = Albi3n, CR = Camino Real, FE = Festival, FO = Fortuna, PP = Pico de Pájaro, SA = San Andreas.

Cuadro A23. Pruebas de F del análisis de las temperaturas promedio en el período del 15 al 17 de octubre de 2014 de las hojas al amanecer (6:30-7:00 h) (THam), para variedades y niveles.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	69.75	<.0001
Nivel	3	106	151.17	<.0001
Var	5	106	2.08	0.074
Var*Nivel	15	106	2.96	0.0006

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A24. Pruebas de F del análisis de las temperaturas promedio en el período del 15 al 17 de octubre de 2014 de las hojas al medio día (12:00-12:30 h) (THmd), para variedades y niveles.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	5.22	0.0069
Nivel	3	106	7.39	0.0002
Var	5	106	2.77	0.0214
Var*Nivel	15	106	0.52	0.9222

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A25. Pruebas de F del análisis de las temperaturas promedio en el período del 15 al 17 de octubre de 2014 de las hojas en la noche (21:00-21:30 h) (THpm), para variedades y niveles.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	77.59	<.0001
Nivel	3	106	262.42	<.0001
Var	5	106	1.47	0.207
Var*Nivel	15	106	1.11	0.3554

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A26. Pruebas de F del análisis de las temperaturas promedio en el período del 15 al 17 de octubre de 2014 de los frutos al amanecer (6:30-7:00 h) (TFam), para variedades y niveles.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	32.05	<.0001
Nivel	3	106	49.36	<.0001
Var	5	106	1.06	0.3844
Var*Nivel	15	106	1.22	0.2695

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A27. Pruebas de F del análisis de las temperaturas promedio en el período del 15 al 17 de octubre de 2014 de los frutos al medio día (12:00-12:30 h) (TFmd), para variedades y niveles.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	2.27	0.1081
Nivel	3	106	1.88	0.1378
Var	5	106	2	0.085
Var*Nivel	15	106	1.69	0.0646

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.

Cuadro A28. Pruebas de F del análisis de las temperaturas promedio en el período del 15 al 17 de octubre de 2014 de los frutos en la noche (21:00-21:30 h) (TFpm), para variedades y niveles.

F.V.	G.L.	Den DF	F-Valor	Pr > F
Bloque	2	106	1.52	0.2229
Nivel	3	106	15.81	<.0001
Var	5	106	0.79	0.5592
Var*Nivel	15	106	0.77	0.707

*significativo = 0.05 F.V. = Fuente de Variación. G.L.= Grados de Libertad.