



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

**CALIDAD DE PLANTA MADRE Y CAPACIDAD PRODUCTIVA DE
CULTIVARES MEXICANOS DE FRESA EN CONDICIONES DE
INVERNADERO**

MARÍA DE LOS ÁNGELES GONZÁLEZ DOMÍNGUEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2015

La presente tesis titulada: **"CALIDAD DE PLANTA MADRE Y CAPACIDAD PRODUCTIVA DE CULTIVARES MEXICANOS DE FRESA EN CONDICIONES DE INVERNADERO"** realizada por **María de los Ángeles González Domínguez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. GREGORIO ARELLANO OSTOA

ASESOR



DR. EDUARDO GARCÍA VILLANUEVA

ASESOR



DRA. MARÍA TERESA COLINAS LEÓN

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Abril de 2015

CALIDAD DE PLANTA MADRE Y CAPACIDAD PRODUCTIVA DE CULTIVARES MEXICANOS DE FRESA EN CONDICIONES DE INVERNADERO

María de los Ángeles Gonzáles Domínguez

Colegio de Postgraduados, 2015

En este estudio se evaluaron la capacidad de propagación y producción fruta, en plantas de fresa con categoría fundación y registradas de los cultivares CP-Jacona y CP-Zamorana. Se encontró que la tasa fotosintética, tasa de transpiración y conductancia estomática no registraron diferencias significativas entre cultivares durante la propagación de planta con categoría fundación. Al final de la producción de estolones el contenido de azúcares totales y la distribución de materia seca fueron diferentes de acuerdo al tipo de órgano, concentrándose el mayor contenido en hoja y menor en raíz. Zamorana produjo de 11.14 estolones por planta, equivalente al 30% por encima de Jacona la cual tuvo 7.57. Estos cultivares produjeron 36 plantas hijas por planta madre. Por otro lado, la evaluación de la producción demostró que el mayor rendimiento se registró en marzo, donde el cultivar Jacona de propagación convencional (JC) fue superior con 111.77 g/planta; sin embargo, el mayor peso por receptáculo se obtuvo durante enero y febrero alcanzando hasta 14 g, mientras que el rendimiento acumulado no mostró significancia entre plantas con categoría registrada y de propagación convencional. La tasa fotosintética, tasa de transpiración y conductancia estomática fueron estadísticamente iguales en los dos tipos de plantas, durante cada evaluación de evaluación. Del mismo modo no hubo diferencias en los azúcares totales de plantas con categoría registrada y propagación convencional pero fue diferente de acuerdo al tipo de órgano, concentrándose el mayor contenido en hojas y menor en raíz. Respecto a la distribución de materia seca, el receptáculo fue el órgano que acumuló más biomasa seca con valores de entre 65-70 %, seguido de hojas, coronas y raíces. Con respecto a los parámetros de calidad de fruta, se encontró que el color de los receptáculos fue igual entre tratamientos a los 126 y 157 ddt, registrándose el rojo característico de la fresa y la mayor brillantes. La firmeza de los receptáculos varió respecto al periodo de evaluación, mientras que el contenido de SST y de ácido cítrico fueron más altos durante enero y febrero. Finalmente la relación SST/AT y pH no indicaron diferencias entre receptáculos de los dos tipos de planta.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa*, capacidad de propaación, producción, calidad de fruta.

MOTHER AND QUALITY OF PLANT PRODUCTION CAPACITY OF MEXICAN CULTIVARS OF STRAWBERRY GREENHOUSE CONDITIONS

María de los Ángeles Gonzáles Domínguez

Colegio de Postgraduados, 2015

In this study, they were evaluated the ability to propagation and fruit production in strawberry plants with category registered and foundation, of cultivars CP-Jacona and CP-Zamorana. It was found that the photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance no significant differences registered between cultivars, during propagation plant of category foundation. At the end of the production of stolons total sugar content and dry matter partitioning they were different according to the type of organ, concentrating the highest content in leaf and less root. Zamora came to 11.14 stolons per plant, equivalent to 30% above which was 7.57 Jacona. These cultivars produced 36 daughter plants by mother plant. Furthermore, the production evaluation demonstrated that the best performance was recorded in March, where the Jacona cultivars of conventional propagation (JC) was higher with 111.77 g/plant; however, the greater weight per receptacles is obtained during January and February, reaching up to 14 g, while the yield performance registered no significance between plants with registered category and the conventional propagation. The photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance were statistically similar in both types of plants during each assessment evaluation. Similarly there was no difference in total sugars of plants with registered and conventional category but varied according to the type of organ, concentrating the highest content in leaves and less in root. Concerning the distribution of dry matter, the receptacle organ was accumulated more dry biomass with values of between 65-70%, followed by leaves, crowns and roots. As for the parameters of fruit quality, it was found that the color of the receptacles between treatments was equal to 126 and 157 ddt, registering the characteristic red strawberry and most bright. The firmness of the receptacles varied regarding the evaluation period, while the content of SST and citric acid were higher during January and February. Finally the SST/AT ratio and pH indicated no difference between the two types of receptacles plant.

Key words: *Fragaria x ananassa*, propagation capacity, production, quality of fruit.

AGRADECIMIENTOS

A los millones de mexicanos que pagan impuestos, quienes, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Colegio de Postgraduados, han financiado parte de mi educación.

A mi consejo particular: Dr Gregorio Arellano Ostoa, Dr. Eduardo García Villanueva y Dra. María Teresa Colinas León, por su disposición de tiempo, asesoría y conocimientos aportados en esta investigación.

Al Ing. Reyes Lopez García por su invaluable apoyo técnico y en la escritura, por los puntos de vista, observaciones y recomendaciones. Por transmitirme su entereza en los momentos de frustración.

Al Dr. Victor Conde Martinez, por su tiempo, asesoría y recomendaciones, además de facilitarme el espacio y materiales de su laboratorio.

Al Dr. Guillermo Calderon Zavala por proporcionar el material vegetal y facilitar el espacio para el establecimiento del experimento.

Al Dr. Horacio Eliseo Alvarado Raya por su apoyo brindado desde la licenciatura, por incentivar me a continuar con mis estudios profesionales.

A la Dra. Sabina por el apoyo y asesoría en el laboratorio, además de la amistad brinda.

DEDICATORIA

A mis queridos padres con el corazón.

Oliveria Domínguez Joaquín y Demetrio González Garduza

Por su amor, enseñanzas, consejos y ejemplo de vida, lucha y paciencia.

A mis hermanos con amor y cariño

Sandra Gualupe por el cariño y ejemplo de trabajo diario y a mi hermanito Julio Cesar (tururú) por los momentos bonitos que pasamos en casa jugando (con Gato) y viendo películas, siendo tan joven siempre me enseñas.

A los chiquitines

Al pequeño y tierno José y a la coquetosa y pícara Pao, por llenar de alegría a la familia.

A Reyes

Por ser mi mejor amigo y compañero, faltarían palabras para expresar todo el cariño, *amor* y admiración. Por ser parte de mi vida.

Contenido

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS PARTICULARES.....	3
HIPÓTESIS.....	3
CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
1.1. Importancia del cultivo	4
1.2. Generalidades de la fresa	5
1.3. Importancia del Cultivo de Tejidos en la Propagación de Plantas de Fresa	5
1.4. Principales métodos de propagación de fresa por cultivo de tejidos.....	6
1.5. Programas de Certificación Para la Producción de Planta de Fresa.....	7
1.6. El cultivo de Fresa	10
1.7. Factores que Afectan la Acumulación de Materia Seca	11
1.7.1. Luz.....	11
1.7.2. Temperatura.....	12
1.7.3. Fotosíntesis	13
1.7.4. Transpiración	14
1.7.5. CO ₂ Interno	14
1.7.6. Conductancia estomática.....	15
1.8. Calidad de Fruto	15
1.8.1. Características fisicoquímicas.....	16
CAPÍTULO II. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DURANTE LA PROPAGACIÓN DE PLANTAS FUNDACIÓN DE CULTIVARES MEXICANOS DE FRESA EN INVERNADERO.....	27
RESUMEN	27
2.1. INTRODUCCIÓN.....	29
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS	30
2.2.1. Localización.....	30
2.2.2. Material vegetal.....	30
2.2.3. Conducción del experimento	30
2.2.4. Diseño experimental.....	31
2.2.5. Variables respuestas	31
2.2.6. Análisis de datos	32

2.3. RESULTADOS Y DISCUCION	32
2.3.1. Tasa Fotosintética (TF).....	32
2.3.2. Tasa de transpiración (E).....	34
2.3.3. Conductancia Estomática (g_s)	35
2.3.4. Capacidad de Propagación de Plantas Fundación.....	36
2.3.5. Contenido de Azucares Totales (AT).....	38
2.3.6. Distribución de Materia Seca.....	39
2.4. CONCLUSIONES.....	41
2.5. LITERATURA CITADA	42
ANEXOS	44
CAPÍTULO III. INDICADORES FISIOLÓGICOS DURANTE LA PRODUCCIÓN DE	
FRUTA EN PLANTAS REGISTRADAS DE CULTIVARES MEXICANOS DE FRESA...46	
RESUMEN	46
3.1. INTRODUCCIÓN.....	48
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	50
3.2.1. Localización.....	50
3.2.2. Material vegetal.....	50
3.2.3. Establecimiento.....	50
3.2.4. Diseño experimental.....	51
3.2.5. Variables respuesta.....	51
3.2.9. Análisis estadístico.....	52
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
3.3.1. Rendimiento Mensual.....	53
3.3.2. Número de receptáculos por Planta.....	54
3.3.3. Peso de los receptáculos	56
3.3.4. Rendimiento Acumulado.....	58
2.3.5. Tasa Fotosintética (TF).....	59
3.3.6. Tasa de Transpiración (E).....	60
3.3.7. Conductancia Estomática (g_s)	62
3.3.8. Contenido de Azucares Totales (AT).....	63
3.3.9. Distribución de Materia Seca Acumulada.....	64
3.4. CONCLUSIONES.....	66
2.5. LITERATURA CITADA	67
ANEXOS	71
.....	73

CAPITULO IV. CALIDAD DE FRUTA DE PLANTAS DE FRESA CON CATEGORÍA REGISTRADA.....	73
RESUMEN	73
4.1. INTRODUCCIÓN.....	75
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS	76
4.2.1. Localización.....	76
4.2.2. Material vegetal.....	76
4.2.3. Conducción del experimento	76
4.2.5. Variables respuesta.....	77
4.2.6. Análisis de datos	78
4.3. RESULTADOS Y DISCUSION.....	79
4.3.1. Dimensiones de los receptáculos	79
4.3.2. Color.....	81
4.3.3. Firmeza	84
4.3.4. Sólidos Solubles Totales (°Bx).....	85
4.3.5. Contenido de Ácido Cítrico (AT)	86
4.3.6. Sólidos Solubles Totales (°Bx) / Acidez Titulable (AT).....	87
4.3.7. pH.....	87
4.4. CONCLUSIONES.....	89
4.5 LITERATURA.....	90
ANEXOS	93
CAPITULO V. DISCUSIÓN GENERAL	94
CONCLUSIONES	99
LITERATURA.....	100

ÍNDICE DE CUADROS DEL CAPÍTULO I

Cuadro 1. Etapas y categorías de planta según el programa de certificación de California.-----	10
--	----

ÍNDICE DE CUADROS DEL CAPÍTULO II

Cuadro 1. Número de estolones (NE), y número de plantas hijas (NPH) acumulados por planta madre de categoría fundación en cultivares mexicanos de fresa, propagadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	37
Cuadro 2. Contenido de Azúcares solubles totales (AST) en plantas fundación de cultivares mexicanas de fresa, durante el periodo final de producción de estolones en condiciones de en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	39

ÍNDICE DE CUADROS DEL CAPÍTULO IV

Cuadro 1. Dimensiones de los receptáculos de fresa de plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra receptáculos de plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	80
Cuadro 2. Parámetro de Luminosidad (L) en receptáculos de fresa de plantas con categoría registrada comparadas contra receptáculos de plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México-----	82
Cuadro 3. Parámetro de color (Hue) en receptáculos de fresa de plantas con categoría registrada comparadas contra receptáculos de plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	83
Cuadro 4. Parámetros de color Cromo (c) en receptáculos de fresa de plantas con categoría registrada comparadas contra receptáculos de plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	84
Cuadro 5. Firmeza en receptáculos de fresa de plantas con categoría registrada comparadas contra receptáculos de plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	85

Cuadro 6. Sólidos solubles totales (SST), Acidez titulable (AT), intensidad de sabor (SST/AT) y pH en receptáculos de fresa de plantas con categoría registrada comparadas contra receptáculos de plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	88
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS DEL CAPÍTULO I

Figura 1. Sistema de certificación para la propagación de fresa en los países bajos (Iniciando a partir de 10 plantas madres originales, después de 4 años se pueden obtener cerca de 10 millones de plantas) -----	8
---	---

ÍNDICE DE FIGURAS DEL CAPÍTULO II

Figura 1. Tasa Fotosintética (TF) en plantas de fresa con categoría fundación, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	33
---	----

Figura 2. Tasa transpiración (E) en plantas de fresa con categoría fundación, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	34
--	----

Figura 3. Conductancia estomática (g_s) en plantas de fresa con categoría fundación, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	36
---	----

Figura 4. Distribución de materia seca acumulada de plantas de fresa con categoría fundación cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	40
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS DEL CAPÍTULO III

Figura 1. Rendimiento mensual en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	54
--	----

Figura 2. Número de receptáculos/planta en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----	55
--	----

Figura 3. Peso promedio por receptáculos en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----57

Figura 4. Rendimiento acumulado en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----58

Figura 5. Tasa Fotosintética (TF) en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----60

Figura 6. Tasa de transpiración (E) en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----61

Figura 7. Conductancia estomática (g_s) en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----62

Figura 8. Azúcares totales de plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----64

Figura 9. Distribución de materia seca acumulada de plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.-----65

INTRODUCCIÓN GENERAL

La fresa *Fragaria x ananassa* Duch es la fruta cosechada más ampliamente distribuida en el mundo, se cultiva en todos los países con un clima templado o subtropical e incluso en tropicales de zonas altas, donde el clima es adecuado, ésta es altamente apreciada por sus características organolépticas (Chandler *et al.*, 2012). Entre los factores prioritarios para lograr alta productividad en campo es necesario el uso de planta certificada, las ventajas que se obtienen de esto son altos rendimientos de fruta de calidad, disminución de los costos por concepto de control de plagas y enfermedades lo que reduce los costos de producción por kilogramo de fresa (Davalos *et al.*, 2011).

Por lo tanto, la certificación es necesaria para todo aquel que comercialice plantas (Boxus y Larvor, 1987). En México uno de los principales problemas para el sistema producto fresa, es la dependencia tecnológica de los E.UA., respecto a las variedades utilizadas para el establecimiento de los viveros. Esto constituye un aumento considerable en los costos de producción, sobre todo si se considera que en el establecimiento de una hectárea de huerto comercial de fresa se requiere un promedio de 80 000 plantas hijas, lo que implica que por cada hectárea de vivero se utilicen de 10-12 millares de plantas madre (Fondo Sectorial de Investigación, en materia Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitotecnológicos, 2012).

Para la obtención de plantas de fresa, además del método convencional, la micropropagación juega un papel importante en la propagación comercial y en los programas de mejoramiento para producir plantas más rápidamente (Moore *et al.*, 1991). Además se ha señalado un aumento en la fructificación, la cual se atribuye a una mayor proliferación de corona y diferenciación, sin embargo, también se reporta una disminución en la calidad de la fruta si se compara con las plantas convencionales (Zebrowska *et al.*, 2003).

Uno de los principales objetivos en los programas de mejoramiento genético son el aumento en el rendimiento, la generación de variedades de día neutro, y la resistencia a enfermedades, además de mejorar los atributos de calidad. La fresa es una fruta no climatérica que generalmente toma aproximadamente 30 días para alcanzar el tamaño completo y madurez,

los cuales dependen de la luz, temperatura, la composición del suelo y otras condiciones de cultivo (Cordenunsi *et al.*, 2002). Ya que la producción de fresa en México tiene una fuerte orientación a la exportación a los E.U.A. de Norteamérica, es necesaria la producción de fruta con altos estándares de calidad principalmente en los aspectos de calidad postcosecha, así como calidad nutracéutica (Sánchez-Rodríguez, 2008). Por lo anterior, la finalidad del presente trabajo fue el estudio de la capacidad de propagación y producción de plantas de fresa provenientes de cultivos de tejidos, además de la evaluación de parámetros de calidad postcosecha en comparación con plantas de propagación convencional.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los parámetros de capacidad de propagación, producción y de calidad de fruta en plantas de fresa con categoría fundación y registrada de dos cultivares mexicanos de fresa.

OBJETIVOS PARTICULARES

Evaluar el intercambio de gases, azúcares totales y distribución de materia seca, así como la capacidad de multiplicación en plantas de fresa con categoría fundación de cultivares mexicanos.

Evaluar el intercambio de gases, azúcares totales y distribución de materia seca de plantas de fresa con categoría registrada durante el periodo de producción de fruta en comparación con plantas de propagación convencional.

Determinar la calidad de fruta a través de la evaluación de: dimensión, color, firmeza, sólidos solubles totales, contenido de ácido cítrico, pH y relación SST/AT.

HIPÓTESIS

Las plantas de fresa con categoría fundación presentan alta capacidad de multiplicación en condiciones de invernadero.

Las plantas de fresa con categoría registrada responden de manera similar y son igualmente competitivas en la producción de fruta en comparación con las plantas de propagación convencional.

La calidad de la fruta no varía de acuerdo al tipo de planta.

CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Importancia del cultivo

La fresa ha sido ampliamente cultivada debido a su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones ecológicas (Demirsoy *et al.*, 2010). En el 2013 la superficie sembrada de fresa en México fue de 8, 639.72 ha, rendimientos de 44.66 t/ha con un valor de la producción de \$ 4, 173,587.79. El mayor estado productor de esta frutilla es Michoacán con 4,065.0 ha el cual produjo rendimientos de 45.72 t/ha con un valor de \$1, 779,825.25 (SIAP, 2013). Michoacán y Baja California producen aproximadamente el 87% del total de la producción en México (Plan Rector Nacional, 2012).

La fresa no solo es atractiva por su apariencia física, sus propiedades fisiológicas, su color brillante, delicioso sabor, fina textura y fresco aroma, sino también por su alto valor económico y nutricional tales como, minerales esenciales, ácidos orgánicos, vitaminas y compuestos antioxidantes. Por esto, el mercado para la producción comercial de la fruta fresca y su procesamiento industrial se ha incrementado significativamente en los últimos años (Yonghua *et al.*, 2008).

El cultivo de la fresa va en aumento, no solo en cuanto a producción, sino también en la aplicación de nuevas tecnologías reconociéndose tres sistemas de producción: a) el sistema tradicional, b) el semitecnificado y c) el tecnificado. Cada vez aumenta el número de hectáreas cultivadas en los sistemas semitecnificado (uso de acolchados plásticos al surco y riego por goteo) y tecnificado con (acolchado, riego por goteo y macrotúnel) lo cual permite garantizar la calidad, sanidad e inocuidad deseados (Plan Rector Nacional, 2012). En México, el uso del macrotúnel ha sido importante para producir fresa en fresco, particularmente para la producción de frutos de primera calidad para exportación, en el periodo de Octubre a Febrero, principalmente hacia los Estados Unidos (Dávalos *et al.*, 2014)

En una plantación de fresa generalmente son utilizados dos tipos de transplantes: plantas con raíz desnuda y plantas en contenedores (con cepellón). El transplante a raíz desnuda es el más

ampliamente utilizado debido a su disponibilidad, pero son los más difíciles de establecer en campo. Estos trasplantes requieren generalmente de riego por aspersión cuando las temperaturas son más altas durante el día en los primeros 7 a 12 días después del establecimiento. Por su parte los trasplantes de plantas en contenedores requieren de menos riego para su establecimiento (Bielinski y Obregón, 2012).

1.2. Generalidades de la fresa

La fresa *Fragaria x ananassa* Duch es la más altamente distribuida y cosechada en todo el mundo, se cultiva en todos los países con clima templado o subtropical e incluso en muchas zonas altas de países tropicales, donde el clima es adecuado (Chandler *et al.*, 2012). La fresa es una planta herbácea perenne, con tallo corto de hojas dicotiledóneas arrosetadas, estolones y raíces de 10-40 cm de largo de bajo crecimiento que pertenece a la familia Rosaceae. La fresa cultivada es una octaploide ($2n = 8x = 56$), es un híbrido entre *Fragaria chiloensis* (L.) Duchn and *Fragaria virginiana* (L.) Duchn. (Lim, 2012; Bhat *et al.*, 2012; Hancock *et al.*, 1989¹).

Convencionalmente las plantas son propagadas vegetativamente por estolones que surgen de las yemas axilares de la corona de la planta. Sin embargo éste método de propagación produce un número limitado de plantas hijas (Debnath *et al.*, 2007). Además el crecimiento de los estolones es estimulado en días largos y temperaturas más cálidas durante el periodo de crecimiento, y el tiempo del transplante para la propagación varía de un lugar a otro (Hancock, 1999). Se ha reportado que las temperaturas óptimas para el desarrollo de estolones es de 25-30°C y se ve inhibido por altas que van de 35-40°C y bajas temperaturas de 14-20°C (Smeets, 1982; Kadir y Sidhu, 2006).

1.3. Importancia del Cultivo de Tejidos en la Propagación de Plantas de Fresa

A menudo es necesario introducir rápidamente el cultivo de nuevas variedades y esto es posible a través del cultivo de tejidos, el cultivo de tejidos es comúnmente llamado òclonaciónö o òmicropropagaciónö y es el método más reciente utilizado para la propagación de la madre (More *et al.*, 1991).

Además de la rápida tasa de multiplicación, el cultivo de tejidos tiene la ventaja de obtener un gran número de plantas a partir de un solo individuo en un tiempo relativamente corto

(Ashrafuzzaman *et al.*, 2013). Por otro lado, la micropropagación se diferencia de todos los demás métodos de propagación en que las condiciones de asepsia son esenciales para lograr el éxito (Debnath *et al.*, 2007)

Las plantas se pueden derivar a partir de tejido, ya sea a partir de yemas preexistentes a través de la proliferación de brotes, o siguiendo la morfogénesis generada a través de la regeneración de brotes adventicios y por medio de la formación de embriones somáticos (Debnath *et al.*, 2007). Las plantas de fresa micropropagadas se pueden almacenar en condiciones de refrigeración, lo que constituye una técnica valiosa para el almacenamiento de germoplasma (Mulling y Schlegel, 1976). Según investigaciones y en base a la experiencia, se ha demostrado que aun cuando no se detectan virus, una planta de cultivo de tejidos que es sometida a tratamiento de refrigeración es más vigorosa, y puede producir más plantas hijas que las plantas propagadas convencionalmente (UCDAVIS, 2008).

1.4. Principales métodos de propagación de fresa por cultivo de tejidos

Callos. La propagación de fresa se ha realizado mediante callos a partir de explantes de hojas; sin embargo Nehra *et al* (1990) observaron poca capacidad de regeneración de los brotes, y menciona que su utilización puede ser útil para la selección y mejora de las características de la fresa mediante la variación somaclonal.

Meristemos. La proliferación de los brotes ha sido exitosa gracias a la obtención de meristemos individuales y callos de fresa. El cultivo de meristemos sólo o en combinación con tratamiento de termoterapia, es ampliamente utilizado para obtener plantas libres de virus y hongos (Debnath *et al.*, 2012). El cultivo de meristemos y técnicas de regeneración de brotes directos pueden ser útiles si el propósito es la propagación masiva de fresa (Nehra *et al.*, 1994). La micropropagación mediante la regeneración de brotes directa a partir de meristemos es muy adecuado para obtener material de plantación homogénea idéntica al genotipo de la planta madre (Coman, 2012).

De acuerdo con Debnath *et al* (2007) las plantas micropropagadas aclimatadas en condiciones *ex vitro*, muestran con frecuencias mayor número de coronas, crecimiento vegetativo vigoroso y cambio de componentes bioquímicos. Fabbri *et al* (1986) mencionan que el crecimiento vigoroso de las plantas micropropagadas después de la eliminación del medio de

cultivo, depende tanto del desarrollo de nuevas hojas como en la adaptación de las hojas presentes en las plantas en el momento del trasplante. En algunos estudios se observó que en general las plantas micropropagadas habían tenido mayor vigor, producción de estolones y rendimiento, en comparación con plantas propagadas convencionalmente (Cámeron *et al.*, 1985). A pesar de las ventajas que presenta el cultivo de tejidos, se han observado cambios y variantes morfológicas como consecuencia de la propagación (Cameron y Hanckok, 1986; Cameron *et al.*, 1985, 1989; Swartz *et al.*, 1981).

Szczygiel *et al* (2002) evaluaron la idoneidad de las plántulas de fresa micropropagadas tanto para la multiplicación y la fructificación en condiciones de campo, se compararon plántulas directamente de la micropropagación, plantas de estolones y plántulas convencionales de vivero certificado, indicando que las plántulas micropropagadas presentaron mayor tasa de multiplicación de estolones, asimismo la tasa de multiplicación varió de acuerdo al cultivar en los ciclos evaluados.

1.5. Programas de Certificación Para la Producción de Planta de Fresa

En el cultivo de fresa es muy importante el uso de plantas sanas, un buen esquema de certificación es indispensable tanto para el mantenimiento de la sanidad como la fidelidad del genotipo. Anteriormente el sistema de certificación, establecía que los propagadores de plantas debían seleccionar su propio clon dentro de cada cultivar que formaban la base para las plantas de primera calidad, pero debían originarse de plantas libres de virus en invernaderos con mallas anti áfidos, o de estolones de plantas libres de virus propagadas en campo abierto que cumplieran con requerimientos de manejo específicos (Boxus y Larvor, 1987)

Un stock de estas plantas estaba disponible y se analizaba cada año para descartar presencia de virus, debido a la presencia de estos fue necesario aumentar el periodo de las plantas stock libres de virus. Hasta 1979 las plantas de primera calidad mantenidas en casas con malla eran propagadas en campo por un periodo de 4 años y su clasificación dependía de la calidad de la planta madre y estado sanitario. En vista de lo laborioso y la ausencia de indicios de mutaciones realizados en experimentos, se decidió simplificar el sistema de certificación acortando el periodo máximo de propagación en campo a dos años, en el sistema de

certificación de los países bajos como se muestra en la Figura 1. Dijkstra, (1985; citado por Boxus y Larvor, 1987)

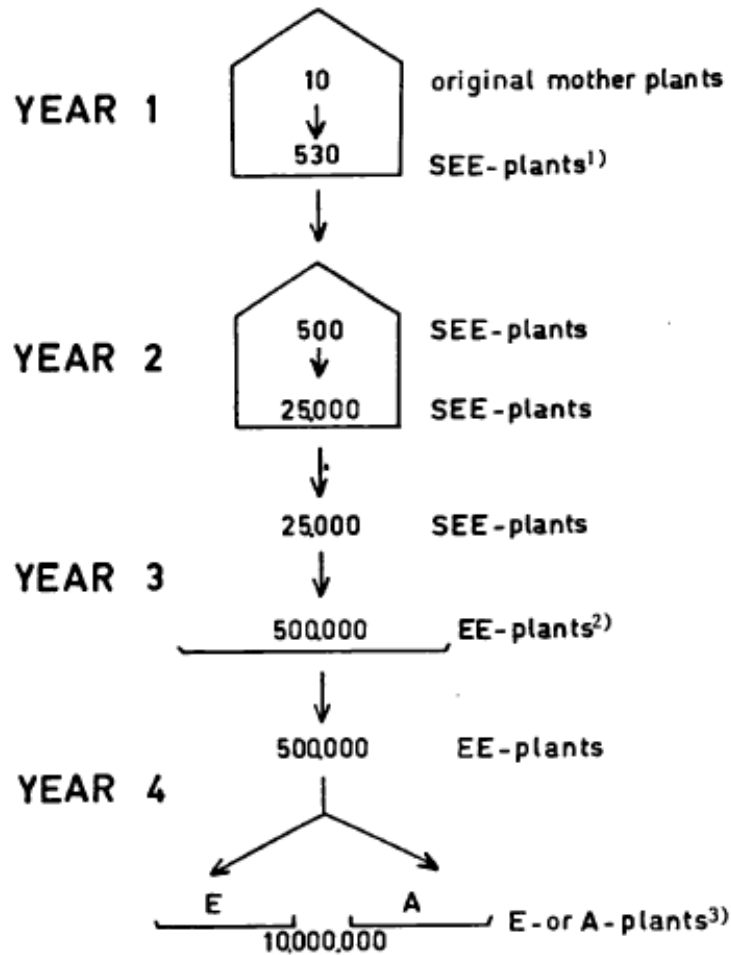


Figura 1. Sistema de certificación para la propagación de fresa en los países Bajos (Iniciando a partir de 10 plantas madres originales, después de 4 años se pueden obtener cerca de 10 millones de plantas).

- 1) 10 Nuevas plantas madres, 20 para prueba
- 2) En los campos de propagación a 5 Km de un centro de producción de fresa y 500 de otros campos de propagación
- 3) Dependiendo del estado sanitario y el sitio de campo

En E.U.A el programa de certificación de California, puntualiza las fases de propagación e indica cinco generaciones clonales convencionales a partir del stock nuclear, aunque de ellas únicamente se permiten tres en campo (Cuadro 1) (Dávalos *et al.*, 2011).

Fases el sistema de certificación de California

1. Establecimiento aséptico del cultivo
2. Cultivo de meristemos
3. Detección de plantas libres de virus mediante pruebas biológicas, serológicas y moleculares.
4. Obtención del stock nuclear: Plantas libres de virus conocidos obtenidas mediante los protocolos del cultivo de tejidos.
5. Incremento del stock nuclear: Primera generación clonal convencional, se lleva a cabo en invernadero a prueba de insectos.
6. Incremento de la planta nuclear: Segunda propagación en invernadero y segunda generación clonal convencional en vivero.
7. Obtención de planta categoría Fundación: Corresponde a la tercera generación clonal convencional descendiente del stock nuclear. A partir de esta generación la propagación puede ser en campo. Según la Legislatura del estado de Washington (2003) las plantas fundación deberán de proceder directamente del stock nuclear y deben ser cultivadas en una instalación a prueba de insectos en suelo esterilizado, libre de plagas y vectores de plagas.
8. Producción de planta categoría Registrada: Es la cuarta generación clonal convencional descendiente del stock nuclear. La planta registrada es la que se obtiene a partir de la categoría fundación
9. Producción de planta categoría Certificada: Se deriva de la propagación de la planta registrada y es la quinta y última generación clonal convencional descendiente del stock nuclear. Esta categoría de planta es la que siembran los agricultores para la producción de fruta

Planta madre: También conocida como stock nuclear, la planta madre se propaga de forma convencional por estolones durante todo el año (UCDAVIS, 2008)

Cuadro 1. Etapas y categorías de planta según el programa de certificación de California E.U.A.

Año	Secuencia de propagación	Sitios de Propagación	Categoría sembrada	Categoría obtenida	Tasa de propagación		Nomenclatura en C.A., E.U.A	Nomenclatura en México
					Día corto	Día neutro		
1	Stock Nuclear	Invernadero	Micropropagada	Planta Nuclear	1	1	Stock Nuclear	-
2	Incremento de Planta Nuclear	Invernadero	Nuclear	Incremento de Planta Nuclear	100	100	Incremento de Planta Nuclear	-
3	Planta Fundación	Viveros en sitios de baja elevación	Incremento de Planta Nuclear	Planta Fundación	50	35	Fundación	Planta Básica
4	Planta Registrada	Viveros en sitios de baja elevación	Planta Fundación	Planta Registrada	50	35	Registrada	Planta Registrada
5	Planta Certificada	Viveros en Sitios de baja y alta elevación	Planta Registrada	Planta Certificada	25	20	Certificada	Planta Certificada
Propagación acumulada					6250000	2450000		

Fuente: Tomado de Dávalos *et al* (2011).

1.6. El cultivo de Fresa

Diversos estudios han descrito componentes en el rendimiento Hancock *et al* (1999) mencionaron que el rendimiento es el producto de la combinación de características, tales como número y tamaño de fruto, vigor de la planta, robustez y resistencia a enfermedades de la planta (Hancock *et al.*, 1983; Hansche *et al.*, 1968). Aunque el número de flores y el tamaño del fruto son también factores importantes en el rendimiento, las variaciones genéticas y ambientales, las correlaciones genéticas y fenotípicas asociadas con el tamaño del fruto, firmeza, rendimiento y apariencia son factores de estudios en el programa de la Universidad de California.

Kumakura y Sishido (1995) mencionaron que el máximo rendimiento en la fresa está asociado con rangos de temperaturas entre 15 y 20 °C, este rendimiento se reduce cuando las temperaturas del día exceden los 25°C, aún si en la noche la temperatura promedio es mantenida bajo los 20°C. Las altas temperaturas (24-32°C) reducen la formación de flores y la

calidad de fruto y se asocia con la inducción del brote floral, estolones, latencia, y los fosfolípidos de las membranas responsables del sabor de las frutas (Li *et al.*, 2010).

El aumento de la edad de la planta produce mayor número de inflorescencias y el número total de flores en las plantas, independientemente del fotoperiodo, la temperatura o la duración del día corto (Verheul *et al.*, 2005). Por otro lado, el rendimiento también puede mejorar mediante un buen manejo de fertilización, optimización en la prevención y control de las enfermedades y el mejoramiento genético de variedades (Zhu *et al.*, 2010).

Existen algunos reportes donde se evalúa el comportamiento de las plantas provenientes de cultivo de tejidos. Szczygiel y Borkowska (1997) y Cameron *et al* (1985) reportaron que en plantas micropropagadas el rendimiento total es mayor que las de las plantas convencionales de vivero en un ciclo de producción, pero el tamaño promedio del fruto es generalmente menor, aunque no todos los cultivares presentaron el mismo incremento. Szczygieł y Borkowska (1997) encontraron diferente respuesta de las plantas micropropagadas, lo que sugiere que es muy probable que los requisitos de las plantas micropropagadas son bastante diferentes a los de las plantas propagadas tradicionalmente, por lo que sería ideal la elaboración de programas de fertilización específicas para las plantas micropropagadas.

1.7. Factores que Afectan la Acumulación de Materia Seca

Moshiur *et al* (2014) mencionaron que del 90 al 95 % de peso seco es derivado de la fotosíntesis y la eficiencia de la fotosíntesis depende directamente de las temperaturas del día y la noche, la intensidad de la luz del día y el fotoperiodo. También la época de siembra de la fresa es importante para la producción de materia seca, así como el crecimiento y la producción del cultivo.

1.7.1. Luz

El fotoperiodo y la temperatura constituyen los dos factores ambientales más importantes que regulan la transición del crecimiento vegetativo al floral en las plantas de fresa. La luz es considerada como el principal factor ambiental para el adecuado crecimiento y rendimiento de la fruta (Hidaka *et al.*, 2013; Sharma y Sharma, 2004). Lieten y Marcelle (1993) demostraron que las plantas de fresa que crecen con baja intensidad de luz, tienden a producir serios desórdenes y frutos albinos. Por otra parte, la moderada intensidad de luz resulta en un

adecuado desarrollo de hojas y frutos y puede mejorar la calidad de la fruta mientras que, la baja actividad fotosintética debida a la baja intensidad de la luz origina frutos pequeños, bajo rendimiento y disminución del crecimiento (Hidaka *et al.*, 2012).

Existen tres tipos de variedades de acuerdo al fotoperiodos (longitud del día) en *Fragaria*; de día corto, de día largo y de día neutro, aunque la mayoría de los cultivares comerciales octaploides cultivados son de día corto o día neutro (Hancock, 1999). Al final del verano, la disminución del crecimiento vegetativo y la latencia de las plantas son influenciadas principalmente por los cambios en el fotoperiodo y en la temperatura (Robert *et al.*, 1999).

Se ha observado que la inducción floral se da en fotoperiodos de 10 a 12 horas en un periodo de 21 o 28 días teniendo temperaturas de 12, 15 y 18°C. Sin embargo la sensibilidad de la planta de fresa a la temperatura y fotoperiodo varía con el tamaño y edad de la planta (Verheul *et al.*, 2006). Bajo diferentes condiciones de luz, ocurren algunos cambios fisiológicos y bioquímicos en la hoja, tallo y raíz, estos cambios pueden afectar considerablemente la acumulación de nutrientes, como el buen rendimiento y calidad de la fresa (Demirsoy *et al.*, 2010).

1.7.2. Temperatura

La temperatura es uno de los factores climáticos importantes que afectan la fotosíntesis neta, en la variedad Marmolada y Darselected los niveles de fotosíntesis neta en hojas se incrementan cuando la temperatura es alrededor de 30°C con 18 y 16 mm CO₂ m⁻²s⁻¹ respectivamente. Por otra parte, cuando la temperatura de la hoja excede la temperatura óptima (26-34° C), la fotosíntesis y la concentración de CO₂ disminuyen debido a diferentes procesos como un incremento en la fotorrespiración y la respiración nocturna, así como a una disminución en la capacidad de transporte de electrones y en la actividad de la Rubisco (Carlen *et al.*, 2009).

La temperatura óptima de asimilación de CO₂ en la hoja en la mayoría de los genotipos de fresa está entre los 15 y 25°C. Las temperaturas óptimas del aire para la iniciación del botón floral en fresa se encuentran dentro del rango de 14-18°C (Darnell, 2003). Por su parte Kirschbaum *et al* (2000) mencionan que es posible que las altas temperaturas mejoren el

crecimiento vegetativo, mientras que las bajas temperaturas tiendan a mejorar la respuesta floral.

El estrés por calor incide en la fotosíntesis de la hoja que es altamente sensible a los cambios de temperatura, puesto que las altas temperaturas inhiben la actividad de los tilakoides, especialmente cerca del fotosistema II (PSII) (Henning y Brown, 1986; Berry y Bjorkman, 1980). El aumento de la temperatura afecta directamente la fotosíntesis, provocando alteraciones en los azúcares, ácidos orgánicos, contenido de flavonoides, firmeza y actividad antioxidante (Moretti *et al.*, 2010).

1.7.3. Fotosíntesis

La asimilación fotosintética del CO₂ en las plantas C₃ está limitado por las factores ambientales, incluyendo la temperatura, la concentración de CO₂ y la disponibilidad de agua. Gran parte de esta limitación puede ser atribuido a las propiedades catalíticas de la enzima Ribulosa bifosfato carboxilasa 1-5 oxigenasa (Raines, 2006). Una reducción de la tasa de asimilación neta no solo afecta el crecimiento, también puede limitar la síntesis de compuestos implicados en la defensa del estrés oxidativo (Oertel *et al.*, 2001).

La tasa de asimilación de CO₂ va de 12 a 18 $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ aunque se han reportado tasas altas de hasta 26 $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ (Darnell, 2003). Las hojas son la parte dominante en la fijación de carbono, aunque los tallos verdes y los órganos florales pueden en ocasiones contribuir de manera substancial. La fotosíntesis es influenciada principalmente por factores genéticos y factores fisiológicos así como las condiciones de crecimiento (Carlen *et al.*, 2009). Las hojas de la fresa presentan fotosíntesis tipo C₃ como la mayoría de los cultivos frutales, es decir, que asimila el carbono en forma de CO₂ en el ciclo de Calvin a través de la Rubisco (Ribulosa bifosfato carboxilasa, (EC. 4.1.1.3.9.)). La fruta de fresa requiere 128 KJoule para producir 100 gr de fruta, la energía que deriva en última instancia de la fotosíntesis de las hojas y fotoasimilados convertidos en fruto de la fotosíntesis (Blanke, 2002). La fotosíntesis se correlaciona directamente a la productividad de la planta y se puede usar para predecir el crecimiento de la planta y su rendimiento (Hidaka *et al.*, 2012).

En el proceso de la fotosíntesis el nitrógeno es el nutriente más requerido y su removilización y translocación determina el rendimiento y la calidad del cultivo del fruto. La eficiencia del N en las plantas se relaciona con la fotosíntesis y la respiración, el nitrógeno se absorbe generalmente en forma de nitrato (NO_3), es reducido e incorporado dentro de las plantas en compuestos orgánicos durante el proceso de la fotosíntesis, que puede estimular la continua asimilación de NO_3 y la actividad fotosintética de la planta (Li *et al.*, 2013).

Cameron *et al* (1989) encontraron que las tasas de fotosíntesis neta y conductancia estomática fueron mayores en plantas micropropagadas de variedad 'Earliglow' en comparación con plantas propagada convencionalmente de la misma variedad.

1.7.4. Transpiración

Los niveles de CO_2 del aire pueden promover la fotosíntesis de las plantas y la fijación de carbono, algunos estudios mencionan que la fotosíntesis y la transpiración de los cultivos se limitan principalmente por la luz pero no por el nivel de CO_2 (Reich *et al.*, 2006; Ainsworth y Rogers 2007; Tartachnyk y Blanke, 2007)

1.7.5. CO_2 Interno

Estudios preliminares indican que *F. x ananassa* tiene tasas de asimilación de CO_2 neto que son intermedias entre *F. virginiana* y *F. chiloensis*, aunque estas tres especies no han sido comparadas en un entorno común. Los valores reportados para *F. x ananassa* varía de 7.6-15.8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (Hancock *et al.*, 1989¹; Hancock *et al.*, 1989²).

Algunos estudios indican que la concentración interna de CO_2 es proporcional con la tasa de fotosíntesis neta, ya que sus tendencias se relacionan a medida que esta aumenta o disminuye, al respecto Kadir y Sidhu (2006) encontraron que el tiempo de reducción de la concentración interna de CO_2 en los cultivares 'Sweet Charlie' y 'Chandler' coinciden con una disminución en las tasa fotosintéticas, lo que sugiere que la disminución de la concentración interna de CO_2 que se traduce en una disminución en la tasa fotosintética, podría estar relacionado con factores distintos a la conductancia estomática, como una disminución en el mesófilo.

1.7.6. Conductancia estomática

Diversos autores mencionan que las especies C3 y C4 muestran una consistente disminución en la conductancia estomática a niveles elevados de CO₂ (Ainsworth y Rogers, 2007). El desarrollo fisiológico de las plantas y la conductancia del nitrógeno interno está asociado con el CO₂ interno de la hoja y los nutrientes (Warren, 2004).

Kadir y Sidhu (2006) mencionaron que diversas tendencias en la reducción de una tasa fotosintética y conductancia estomática a altas temperaturas sugieren que esta actúa directamente sobre los factores de limitación de los procesos de fotosíntesis relacionadas con distintas actividades de la conductancia estomática.

1.8. Calidad de Fruto

La calidad puede resumirse en aspecto, textura, sabor y aroma (Kramer y Twigg, 1970). La evaluación de la calidad de las fresas para el mercado está enfocada principalmente en las características visuales, tales como el tamaño y el color, mientras que la vida postcosecha de los productos hortofrutícolas ha sido definida en términos de apariencia visual, por lo que la aceptabilidad del consumidor se ve disminuida a medida que el deterioro sensorial y sus atributos disminuye (Crecente-Campo *et al.*, 2012)

La calidad en los productos hortofrutícolas es el resultado de una serie de factores que juegan un papel importante durante el manejo precosecha y postcosecha. Un suministro continuo de fotoasimilados y nutrientes por la planta es esencial para el desarrollo normal de la fresa (Van den Poel *et al.*, 2014). Además de los factores genéticos y ambientales, el estado de maduración y almacenamiento afectan en general la calidad de la fruta (Ornelas-Paz *et al.*, 2013). Todos los atributos de calidad son altamente influenciados por el proceso de maduración de la fresa y la cosecha en la etapa adecuada de maduración es crucial para mantener una óptima calidad durante su manipulación, almacenamiento y consumo (Tulipani *et al.*, 2011; Shin *et al.*, 2008; Sturm *et al.*, 2003). Aunque el estado de madurez es importante en la preservación de la calidad del fruto, en la fresa se tiene la disyuntiva en cuanto a calidad sensorial. Morkkila *et al* (1997) mencionan que al escoger fruta con $\frac{3}{4}$ de maduración, la vida útil se prolonga por lo menos tres días y en el mejor de los casos siete días, por otro lado la

calidad sensorial y nutricional inicial de las fresas con dicho estado de maduración no es tan buena para obtener calidad completa.

Los frutos de fresa con gran aroma y sabor muy dulce son ampliamente consumidos en fresco o transformados, por ello se han realizado diversos estudios para evaluar el efecto de diversos factores que determinan la calidad física, sensorial y nutricional. Estos están asociados con rasgos como tamaño, firmeza, color, pH, °Bx, acidez, sabor y aroma (Mazur *et al.*, 2014).

Los azúcares y los ácidos orgánicos tienen alta importancia entre los componentes químicos de la fresa, los azúcares están implicados en el sabor y determinan el valor calórico de la misma. Los ácidos orgánicos están involucrados en el sabor, textura, pH y color del fruto y modifican su calidad sensorial (Ornelas-Paz *et al.*, 2013).

Para la determinación de los diferentes componentes de aroma de las fresas, en un estudio se observó que se podría relacionar la intensidad de sabor con la suma de la concentración de los compuestos volátiles que se liberan en la maceración de los frutos, la diferencia en la cantidad que contienen azufre, comparado con los ésteres presentes. Se han reportado los ésteres como el metiltiol, el acetato metiltiol y el metiltiol butirato (Dirinck *et al.*, 1981).

1.8.1. Características fisicoquímicas

La fresa es considerada un fruto no climatérico su maduración se caracteriza además de otros rasgos, en un ablandamiento rápido y en la adquisición de una fusión de textura en pocos días (Perkinz-Veazie, 1995; Sabry *et al.*, 2009). Pritts (2002) menciona que la pérdida rápida de textura firme limita las prácticas de cosecha y el tiempo de conservación postcosecha, por lo que se deben cosechar antes de estar completamente maduras para poder tener un manejo exitoso.

En un sistema de producción subtropical se ha observado que a medida que el pico de la cosecha avanza y las temperaturas aumentan, la fruta es más pequeña y el contenido de SST disminuye (MacKenzie *et al.*, 2011).

La fruta se considera madura cuando presenta más del $\frac{1}{2}$ o las $\frac{3}{4}$ partes de la superficie de color, pero varía según la norma de calidad aplicada (Cordenunsi *et al.*, 2002). La expresión del color en los frutos de fresa está asociada con la concentración y composición de

antocianinas, se ha reportado que los compuestos polares presentes en mayor concentración son pelargonidina-3-glucósido, pelargonidina-3-malonylglucosido, pelargonidina-3-rutinósido y cianidina-3-glucósido, sin embargo la composición varía con el genotipo, la maduración y las condiciones de almacenamiento (Aaby *et al.*, 2012; Tulipani *et al.*, 2008; Crecente-Campo *et al.*, 2012), así como otros tratamientos postcosecha que afectan la respiración y el oscurecimiento (Rosean y Kader, 1989)

Aunque no está determinado con exactitud el ablandamiento de la fresa, como en otros frutos la degradación de la pared celular parece ser el principal factor responsable de este fenómeno (Huber, 1984; Perkins-Veazie, 1995). Los mayores cambios que se producen en la pared celular son la degradación de la lamela de parénquima cortical de las células, así como un aumento en la solubilización de la pectina, la poligalacturonasa y pectato liasa se encuentran entre las enzimas que podrían estar involucradas en la degradación de la pectina durante la maduración de la fruta. Esto podría estar asociado con los bajos niveles de calcio ya que constituye es un factor importante en la calidad, ya que frutos con bajos niveles de calcio son sensibles a diversos desórdenes fisiológicos y patológicos y presentan corta vida de anaquel (Wójcik y Lewandowski, 2013)

El contenido de sólido solubles totales es la concentración colectiva de azúcares, ácidos y otras sustancias disueltas en el jugo celular, en el fruto de fresa comprende entre el 80-90% de estos. Factores como la edad de las plantas, el predominante orden de la fruta cosechada, y el aumento de rendimiento correlacionado con la progresión del pico de cosecha pueden afectar la concentración de los sólidos solubles (MacKenzie *et al.*, 2011).

Mazur *et al* (2014) reportan que la relación SST/AT es el indicador más certero en la determinación de sabor de los frutos de fresa, aun cuando se conozca el contenido de azúcares o acidez de manera individual, y que éste parámetro aumenta notablemente durante la maduración.

1.9 LITERATURA

- Aaby K., S. Mazur, A. Nes, and G. Skrede. 2012. Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits; composition in 27 cultivars and changes during ripening. *Food Chemistry* 132: 86-97.
- Ainsworth E.A. and A. Rogers. 2007. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising CO₂: mechanisms and environmental interactions. *Plant Cell Environ* 30: 258-270
- Ashrafuzzaman M., S. M. Faisal, D. Yadav, D. Khanam and F. Raihan. 2013. Micropropagation of strawberry (*fragaria ananassa*) through runner culture. *Bangladesh J. Agril. Res* 38(3): 467-472.
- Berry J. and O. Bjorkman. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiologi.* 31: 491-543.
- Bhat P R., D. M. Kheroda, H. Jayalaxmi, I. Sophia and P.S. Prajna. 2012. Effect of plant growth regulators on establishment and growth of strawberry (*Fragaria X ananassa* Duch.) var. chandler in vitro. *Agricultural Science Research Journals* 2(12): 623-632.
- Bielinski M. S. y H.A. Obregón. 2012. Prácticas culturales para la producción comercial de fresas en Florida. Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de la Florida. (UF/IFAS).
- Blanke M. 2002. Photosynthesis of Strawberry Fruit. *Acta Horticulturae.* 567, ISHS.
- Boxus P. and Larvor P. 1987. In vitro culture of strawberry plants. *Biological sciences. ECSC-EEC-EAEC, Brussels.* 15-17 P.
- Cameron J.S. and J.F. Hancock. 1986. Enhanced vigor in vegetative progeny of micropropagated strawberry plants. *HortScience* 21: 1225-1226.

- Cameron J.S., J.F. Hancock and J.A. Flore. 1989. The influence of micropropagation on yield components, dry matter partitioning and gas exchange characteristics of strawberry. *Scientia Horticulturae* 38: 61-67.
- Cameron J.S., J.F. Hancock and T.M. Nourse. 1985. The field performance of strawberry nursery stock produced originally from runners or micropropagation. *Adv. Strawberry Prod* 4: 56-58.
- Carlen C., A.M. Potel and A. Ançay. 2009. Photosynthetic response of strawberry leaves to changing temperatures. *Acta Hort.* 838, ISHS.
- Chandler C.K., K. Folta , A. Dale , V.M. Whitaker and M. Herrington. 2012. Strawberry. En Badenes M.L., and D.H. Byrne (EDS). *Fruit Breeding, Handbook of Plant Breeding*. Chapter 9.
- Coman M. and V. Isac., 2012. Valited protocols for micropropagation of some fruit species to produce pre-basic plant material. *Fruit Growing research* 28 (1).
- Cordenunsi B.R., J.R. Oliveira Do Nascimento, M.I. Genovese and F.M. Lajolo. 2002. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. *J. Agric. Food Chemistry* 50(9): 2581-2586.
- Crecente-Campo J., M. Nunes-Damaceno, M.A. Romero-Rodríguez and M.L. Vázquez-Odériz. 2012. Color, anthocyanin pigment, ascorbic acid and total phenolic compound determination in organic versus conventional strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch, cv Selva). *Journal of Food Composition and Analysis* 28: 23-30.
- Darnell R.L. 2003. Strawberry Growth and Development. En N.F. Childers (ED.), *The Strawberry*. Dr. Norman F. Childers Publications, Gainesville, Flo, 6-7 p.
- Dávalos G.P.A., R. Aguilar-García, A.E. Jofre y Garfias, A.R. Hernández- Razo y M.N. Vázquez-Sanchez. 2011. Tecnología para sembrar viveros de fresa. Inifap Libro técnico núm. 3. INIFAP 153 p.

- Dávalos G.P.A., A.E. Jofre Garfías, M.N. Vázquez-Sánchez and A.R. Hernández Razo. 2014. Macrotunnel, plant type and genotype effect on strawberry precocity and productivity in Irapuato, Gto. Mexico. *Acta Horticulturae (ISHS)* 1049:801-807
- Debnath S. C. and J. A. Teixeira da Silva. 2007. Strawberry culture in vitro: Applications in genetic transformation and biotechnology. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology* 1:1-12.
- Demirsoy L., H. Demirsoy, B. Ersoy, G. Balci and R. Kizilkaya. 2010. Seasonal variation of N, P, K and Ca content of leaf, crown and root of 'Sweet Charlie' strawberry under different irradiation. *Zemdirbyste-Agriculture* 97(1).
- Dijkstra J. 1985. Research station for Fruit Growing Wilhelminadorp, The Netherlands. En P. Boxus and P. Larvor (EDS), *In Vitro culture of strawberry plants* Commission Of the European Communities, Brussels, Luxembourg, 15 p.
- Dirinck P.J., H.L. De Poote, G.A. Willaert and N.M Schamp. 1981. Flavor quality of cultivated strawberries: The role of the sulfur compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 29: 316-321.
- Fabbri A., E. Sutter and S. K. Dunston. 1986. Anatomical changes in persistent leaves of tissuecultured strawberry plants after removal from culture. *Scientia Horticulturae* 28: 331-337.
- Fondo Sectorial de Investigación en materia Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenético. 2012. Anexo B. Demandas del Sector 2012-3. 'Generación y Validación de Variedades Mexicanas de Fresa'.
- Hancock J.F., J.H. Siefker, and N.L. Schulte. 1983. Cultivar variation in yield components of strawberries. *HortScience* 18: 312-313.
- Hancock J.F. 1999. *Strawberries*. CABI Publishing. Michigan, USA. 237 p.
- Hancock J.F., J.A. Flore and G.J. Galletta¹. 1989. Gas exchange properties of strawberry Species and their hybrids*. *Scientia Horticulturae* 40: 139-144.

- Hancock J.F., J.A. Flore, and G.J. Galetta². 1989. Variation in photosynthetic rates and yield in strawberries. *Journal of the Society for Horticultural Science* 64: 449-454.
- Hansche P.E, R.S. Bringham and V. Voth. 1968. Estimates fo genetic and enviromental parameters in the strawberry. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 92: 338-345.
- Henning J.C. and R.H. Brown.1986. Effects of irradiance and temperature on photosynthesis in C3, C4 and C3/C4 Pannicum species. *Photosyn. Res.* 10: 101-112.
- Hidaka K., E. Ito, Y. Sago, D. Yasutake, Y. Miyoshi, M. Kitano, K. Miyauchi, M. Okimura and S. Imai. 2012. High yields of strawberry by applying vertically-moving beds on the basis of leaf photosynthesis. *Environ. Control Biol.* 50: 143-152.
- Hidaka K., K. Dan, H. Imamura, Y. Miyoshi, T. Takayama, K. Sameshima, M. Kitano and M. Okimura. 2013. Effect of Supplemental Lighting from Different Light Sources on Growth and Yield of Strawberry. *Environ. Control Biological* 51 (1): 41-47.
- Huber D.J. 1984. Strawberry fruit softening: the potential roles of polyuronides and hemicelluloses. *J. Food. Science* 49: 1310-1315.
- Kadir S. and G. Sidhu. 2006. Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) Growth and productivity as affected by temperature. *HortScience* 41(6): 1423-1430.
- Kirschbaum D., D.J. Cantliffe, C.K. Chandler and R.L. Darnell. 2000. Initiation of flowering, runner formation, and carbohydrate distribution in Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) Mother and daughter plants grown at different temperatures. *HortScience* 35(3):622-628.
- Kramer A. and B.A. Twigg 1970. *Fundamentals of Quality Control for the Food Industry*. 2nd. Edition. The AVI Pub. Co. Inc. Westport, Conn.
- Kumakura H. and Y. Shishido. 1995. Effects of temperature and light conditions on flower initiation and fruit development in strawberry. *Jpn Agr Res Q.* 29: 241-250.

- Li H., T. Li, G. Fu. and P. Katulanda. 2013. Induced leaf intercellular CO₂, photosynthesis, potassium and nitrate retention and strawberry early fruit formation under macronutrient limitation. *Photosynth Res.* 115:101-114.
- Li H., T. Li, R. J. Gordond, S. K. Asiedua and K. Hu. 2010. Strawberry plant fruiting efficiency and its correlation with solar irradiance, temperature and reflectance water index variation. *Environmental and Experimental Botany* 68: 165-174.
- Lieten F. and R.D. Marcelle. 1993. Relationships between fruit mineral content and the -albinism disorder in strawberry. *Ann. Appl. Biol.* 123: 433-439.
- Lim T.K. 2012. *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 4, Fruits*, 395 DOI 10.1007/978-94-007-4053-2_47, Springer Science+Business Media B.V.
- MacKenzie S. J., C. K. Chandler, T. Hasing and V. M. Whitaker. 2011. The role of temperature in the late-season decline in soluble solids content of strawberry fruit in a subtropical production system. *HortScience* 46(11):1562-1566.
- Mazur S P., A. Nes, A-B Wold, S. F. Remberg, B. K. Martinsen and K. Aaby. 2014. Effects of ripeness and cultivar on chemical composition of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits and their suitability for jam production as a stable product at different storage temperatures. *Food Chemistry* 146: 412-422.
- Mokkila M., K. Randell, J. Sariola, M. Hägg and U. Häkkinen. 1997. Improvement of the postharvest quality of strawberries. *Acta Hort. (ISHS)* 439:553-558.
- Moore P. P., J. A. Robbins and T. M. Sjulín. 1991. Field performance of -Olympus strawberry subclones. *HortScience* 26(2):192-194.
- Moretti C.L., L.M. Mattos, A.G. Calbo and S.A. Sargent. 2010. Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. *Food Research International* 43:1824-1832.
- Moshiur M.R., M.M. Rahman, M.M. Hossain, Q.A. Khaliq and M. Moniruzzaman. 2014. Effect of planting time and genotypes growth, yield and quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch). *Scientia Horticulturae* 167: 56-62.

- Mullin RH, and D.E Schlegel. 1976. Cold storage maintenance of strawberry meristem plantlets. *HortScience* 11: 100-101.
- Nehra S. N., C. Stushnoff, and K.K. Kartha. 1990. Regeneration of plants from immature leaf-derived callus of strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Plant Science* 66: 119-126.
- Nehra S. N., K. K. Kartha, C. Stushnoff and K. L. Giles. 1994. Effect of in vitro propagation methods on field performance of two strawberry cultivars. *Euphytica* 76: 107-115.
- Oertel B., N. Keutgen and F. Lenz. 2001. Responses of strawberry to long-term elevated atmospheric ozone concentrations I. Changes of soluble phenol contents in leaves. *Gartenbauwissenschaft* 66:164-171.
- Ornelas-Paz J. J., E. M. Yahia, N. Ramírez-Bustamante, J. D. Pérez-Martínez, M. P Escalante-Minakata, V. Ibarra-Junquera, C. Acosta-Muñiz, V. Guerrero-Prieto and E. Ochoa-Reyes. 2013. Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. Albion) at six stages of ripening. *Food Chemistry* 138: 372-381.
- Perkins-Veazie P. 1995. Growth and ripening of strawberry fruit. *Hort. Rev* 17: 267-297.
- Plan Rector Nacional. 2012. Sistema Producto Fresa. <http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/>. Consulta realizada en enero de 2015.
- Pritts M. 2002. Growing strawberries, healthy communities, strong economies and clean environments: what is the role of the researcher. *Acta Hort.* 567: 411-417.
- Raines C.A. 2006. Transgenic approaches to manipulate the environmental responses of the C3 carbon fixation cycle. *Plant, Cell and Environment* 29: 331-339.
- Reich P.B., S.E. Hobbie, T. Lee, D.S. Ellsworth, J.B. West, D. Tilman, J.M.H. Knops, S. Naeem and J. Trost. 2006 Nitrogen limitation constrains sustainability of ecosystem response to CO2. *Nature* 440:922-925

- Robert F., G. Risser and G. Petel. 1999. Photoperiod and temperature effect on growth of strawberry plant (*Fragaria ananassa* Duch.): development of a morphological test to assess the dormancy induction. *Scientia Horticulturae* 82: 217-226.
- Rosen J.C. and A.A. Kader. 1989. Postharver physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *J.Food Sci.* 54(3): 656-659.
- Sabry M. Y., S. Jiménez-Bermúdez, M. L. Bellido, C. Martín-Pizarro, M. Barceló, S. A. Abdal-Aziz, J. L. Caballero, J. M. López-Aranda, F. Pliego-Alfaro, J. Muñoz, M.A. Quesada and J.A. Mercado. 2009. Fruit yield and quality of strawberry plants transformed with a fruit specific strawberry pectate lyase gene. *Scientia Horticulturae* 119: 1206125.
- Sanchez-Rodriguez G. 2008. El cluster agroindustrial de Zamora. La red valor de fresa. Fundación Produce Michoacán. Primera edición. Morelia Michoacan, México.
- Sharma V.P. and R.R. Sharma. 2004. *The Strawberry*. ICAR, New Delhi, India, 166 p.
- Shin Y., J. A. Ryu, R. H. Liu, J. F. Nock, and C. B. Watkins. 2008. Harvest maturity, storage temperature and relative humidity affect fruit quality, antioxidant contents and activity, and inhibition of cell proliferation of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology* 49(2): 201-209.
- SIAP. 2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo: <http://www.siap.gob.mx>. Consulta realizada en Octubre de 2014.
- Smeets L. 1982. Effects of chilling on runner formation and flower initiation in the everbearing strawberry. *Scientia Horticulturae* 17: 43-48.
- Sturm, K., D. Koron, and F. Stampar. 2003. The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chemistry* 83(3): 417-422.
- Swartz H.J., G.J. Galletta and R.H. Zimmerman. 1981. Field performance and phenotypic stability of tissue culture-propagated strawberries. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 106: 667-673.

- Szczygieł A. and B. Borkowska. 1997. Field evaluation of micropropagated strawberry plants as related to different rooting and nutritional methods. Proceedings of the third international strawberry symposium. *Acta Horticulturae* 439:347-351.
- Szczygieł, A., K. Pierzga, and B. Borkowska. 2002. Performance of micropropagated strawberry plantlets after planting in the field. *Acta hort (ISHS)* 567:317-320
- Tartachnyk II and M.M. Blanke. 2007. Photosynthesis and transpiration of tomato and CO₂ fluxes in a greenhouse under changing environmental conditions in winter. *Ann Appl Biol* 150:149-156.
- Tulipani S., B. Mezzetti, F. Capocasa, S. Bompadre, J. Beekwilder and C. H. R. de Vos. 2008. Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(3): 696-704.
- Tulipani S., G. Marzban, A. Herndl, M. Laimer, B. Mezzetti, and M. Battino. 2011. Influence of environmental and genetic factors on health related compounds in strawberry. *Food Chemistry* 124(3): 906-913.
- UCDAVIS. 2008. Guide to the strawberry clean plant program. Foundation plant services. fpms.ucdavis.edu. Consultado realizada en enero de 2013.
- Van de Poel B., T. Vandendriesschea, M. L.A.T.M. Hertog, B. M. Nicolaia and A Geeraerda. 2014. Detached ripening of non-climacteric strawberry impairs aromaprofile and fruit quality. *Postharvest Biology and Technology* 95: 70-80.
- Verheul M. J., A. Sonsteby, S.O. Grimstad. 2006. Interactions of photoperiod, temperature, duration of short-day treatment and plant age on flowering of *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Korona. *Scientia Horticulturae* 107: 164-170.
- Warren C. 2004. The photosynthetic limitation posed by internal conductance to CO₂ movement is increased by nutrient supply. *J Exp Bot.* 55: 2313-2321.
- Washington state legislatura, 2003. Production requirements for foundation strawberry planting stock. app.leg.wa.gov. Consultado en Enero de 2013.

- Wójcik P. and M. Lewandowski. 2013. Effect of Calcium and Boron Sprays on Yield and Quality of 'Elsanta' Strawberry. *Journal of Plant Nutrition* 26 (3): 671-682.
- Yonghua Q, J. A. Teixeira da Silva, L. Zhang and S. Zhang. 2008. Transgenic strawberry: State of the art for improved traits. *Biotechnology Advances* 26: 219-232.
- Zebrowska J.I., J. Czernas, J. Gawronski and J.A. Hortynski. 2003. Suitability of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) microplants to the field cultivation. *Food, Agriculture and Environment* 34: 190-193.
- Zhu X-G., S. P. Long, D. R. Ort. 2010. Improving photosynthetic efficiency for greater Yield. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61: 235-61.

CAPÍTULO II. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DURANTE LA PROPAGACIÓN DE PLANTAS FUNDACIÓN DE CULTIVARES MEXICANOS DE FRESA EN INVERNADERO

RESUMEN

En el presente estudio se evaluaron algunos parámetros fisiológicos y la capacidad de propagación de plantas de fresa con categoría fundación de cultivares CP-Jacona y CP-Zamorana. La evaluación se realizó en un invernadero de vidrio del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México. Las variables fisiológicas evaluadas fueron: la tasa fotosintética (TF), tasa de transpiración (E) y conductancia estomática (g_s) durante el ciclo de cultivo, además se determinó el contenido de azúcares totales (AT) y la distribución de materia seca en raíz, tallo y hoja. Asimismo se contabilizando el número de estolones NE y el número de plantas hijas por planta madre NPH. Los cultivares CP-Jacona y CP-Zamorana fueron evaluados como tratamientos y se utilizó un diseño completamente al azar con 32 repeticiones, en donde la unidad experimental fue una maceta con una planta. Se encontró que no hubo diferencias significativas en la TF, E y g_s , de los dos cultivares durante las dos fechas de evaluación; sin embargo, disminuyeron con respecto al tiempo. El contenido de AT fue igual en los dos cultivares pero varió con respecto al órgano, concentrándose principalmente en hoja con un 3.32% y en menor concentración en raíz 0.56 % de peso fresco. La materia seca no registró diferencias entre cultivares para la hoja y tallo, sin embargo la hoja tuvo mayor acumulación 52.64% de materia seca en comparación con la raíz 22.57%, este órgano mostró diferencias en la distribución de materia entre cultivares ya que Jacona fue superior en comparación con Zamorana. El cultivar Zamorana fue superior en la producción de estolones 11.14 lo que equivale a un 30% por encima del cultivar Jacona la cual tuvo 7.57 estolones por planta madre, el NPH fue similar en ambos cultivares con 36 y Zamorana 35.6 plantas hijas por planta madre.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa*, tasa fotosintética, azúcares totales, distribución de materia seca, capacidad de propagación.

ABSTRACT

In the present study, some physiological parameters and the ability to propagation strawberry plants with category foundation of cultivars CP-Jacona and CP-Zamorana were evaluated. The evaluation was conducted in a greenhouse glass Graduate School Campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico. The physiological variables evaluated were: photosynthetic rate (TF), transpiration rate (E) and stomatal conductance (g_s) during the growing season, also the total sugars content (AT) and the dry matter distribution were determined in root, stem, and leaf. Number of stolons (NE) and the number of daughter- plants per plant mother (NPH) were counting. The 'CP-Jacona and 'CP-Zamorana' were evaluated as treatments and was used a completely randomized design with 32 replications, where the experimental unit was a pot with one plant. No significant differences in TF, E and g_s were found in the two cultivars during the two evaluation dates; however, decreased with time. AT content was similar in both cultivars but varied with respect to the organ, concentrating mainly in the leaf about 3.32% and the lowest concentration was founded in root with 0.56% of fresh weight. In dry matter, no differences between cultivars were found for leaf and stem, however, the leaf had the greater accumulation of dry matter about 52.64% compared with the root 22.57% , this organ showed differences in the distribution of matter between cultivars due to Jacona was higher with respect Zamorana . Zamorana was higher in the production of stolons 11.14 which equates to 30% above to the cultivar Jacona which had 7.57 stolons per mother plant, the NPH was similar in both cultivar with 36 and 35.6 daughter plants per mother plant.

Key words: *Fragaria x ananassa*, photosynthetic rate, total sugars, dry matter distribution, propagation capacity.

2.1. INTRODUCCIÓN

La propagación asexual (clonación) de la fresa, además de ser el método más utilizado para la propagación comercial de la planta, permite la conservación de las características genéticas y de la calidad de la fruta en las variedades mejoradas, además de obtener plantas genéticamente iguales a la original (planta madre) (Dávalos *et al.*, 2011).

La producción de plantas de fresa provenientes de cultivo de tejidos se ha utilizado principalmente para prevenir la mayoría de las enfermedades transmitidas por el suelo. El cultivo de meristemo utilizado a menudo para la eliminación de virus y la propagación *in vitro* parecen tener ventajas ya que con frecuencia producen un mayor número de estolones debido a una mayor actividad de las yemas axilares estimuladas por la adición de la Benciladenina al medio. Sin embargo, algunos estudios sugieren que el cultivo *in vitro* solo debe ser utilizado para potencializar la acción de las plantas fundación (super-élite) o la planta madre que se propaga en campo durante al menos dos generaciones vegetativas antes de la entrega a los productores (Zebrowska *et al.*, 2003).

La calidad de las plantas fundación es determinante para la generación de nuevos estolones y plantas hijas, para un buen contenido de reservas que al establecerlas en campo permitan alcanzar mayores índices de sobrevivencia. Stapleton *et al* (2001) mencionaron que una planta de calidad debe tener raíces abundantes, coronas múltiples, yemas diferenciadas y alto contenido de carbohidratos para establecerse rápidamente en el terreno donde se va a cultivar, y con ello poder obtenerse una producción precoz y de alto rendimiento.

Se ha reportado que las fresas provenientes de cultivo de tejidos regularmente crecen con más fuerza produciendo más coronas, estolones e inflorescencias en comparación con las plantas propagadas convencionalmente principalmente durante los dos primeros años (Debnath, 2014). Por lo anterior, la finalidad de este estudio fue evaluar parámetros fisiológicos durante la capacidad de multiplicación de plantas de fresa con categoría fundación de cultivares mexicanos CP-Jacona y CP-Zamora en condiciones de invernadero.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Localización

El experimento se realizó en un invernadero de vidrio, perteneciente al Posgrado de Botánica del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México. Se encuentra a una altitud de 2250 m, el clima es templado con temperatura media anual de 15.35 °C y una precipitación media anual de 574.25 mm.

2.2.2. Material vegetal

En esta etapa del experimento, se utilizaron plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) de categoría fundación de cultivares mexicanos -CP-Jaconaø y -CP-Zamoranaø procedentes del Programa de Mejoramiento Genético de Fruticultura del CP. Dichas plantas se encontraban en refrigeración desde el mes de Enero hasta el momento del transplante el día 08 de Abril de 2013.

2.2.3. Conducción del experimento

Las plantas fundación se establecieron el 8 de Abril de 2013, en un invernadero de vidrio con la finalidad de evaluar variables fisiológicas: TF, E y g_s durante el periodo de crecimiento de las plantas y al final de la época de producción de estolones. Además se determinó la capacidad de multiplicación de estolones. Finalmente se evaluó el contenido de azúcares totales (AT), así como la acumulación de materia seca de las plantas en el periodo final de multiplicación. Las plantas fueron sumergidas en una solución de captán durante quince minutos y se aplicó Rooting en las raíces antes de plantarse en bolsas de plástico negro con capacidad de 2.5 kg, cuyo sustrato consistió en una mezcla de suelo de campo, Agrolita y Peat Moss en una relación 2:1:1 v/v sin esterilizar. Las plantas fueron regadas y fertilizadas mediante goteo.

2.2.4. Diseño experimental

Los cultivares ‘CP-Jacona y ‘CP-Zamoranaø fueron evaluados como tratamientos. Se utilizó un diseño completamente al azar con 32 repeticiones por cada tratamiento, en donde la unidad experimental fue una maceta con una planta. Se realizaron muestreos de seis plantas por tratamiento para las variables fisiológicas TF, E y g_s , siete plantas madres por tratamiento para la capacidad de multiplicación, seis plantas para la acumulación de materia seca y tres para azúcares solubles totales (AT)

2.2.5. Variables respuestas

2.2.5. 1. Intercambio de gases

Las variables fisiológicas evaluadas fueron la tasa fotosintética (TF), tasa de transpiración (E) y la conductancia estomática (g_s), las cuales se determinaron mediante un sistema portable de fotosíntesis LICOR-6400 XT (LICOR, Nebraska, EUA.) en dos fechas: el 7 de Junio de 2013 (60 ddt) durante el crecimiento de las plantas, y el 6 de Agosto de 2013 (120 ddt). Las mediciones se realizaron en el foliolo apical de la hoja madura completamente expandida, entre las 11:00am a 1:00 pm. La tasa fotosintética (TF) se expresó en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, la tasa de transpiración (E) en $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y la conductancia estomática (g_s) en $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

2.2.5.2. Capacidad de multiplicación

Además se evaluó la capacidad de las plantas para producir estolones y plantas hijas, con el objetivo de obtener las plantas (categoría registrada) que se utilizarían para la producción de fruto. Esta variable se determinó mediante el conteo manual del número de estolones acumulados realizado el 28 de Agosto de 2013 (142 Ddt) en donde también se contabilizó el número total de plantas hijas.

2.2.5.3. Contenido de azúcares totales

Se evaluó el contenido de azúcares totales presentes en las plantas durante el periodo final de producción de estolones. Estas fueron separadas por órganos, utilizando 500 ± 50 mg de muestra en hoja, tallo y raíz. Las muestras se fijaron en alcohol al 80 % y se extrajeron los azúcares a 80°C por 24 horas. Después de la concentración de los extractos de azúcar se adicionó 1 mL de agua destilada para homogeneizar la suspensión. Para el cálculo apropiado

de azúcares se realizó una curva de calibración de glucosa con un intervalo de 0-250 $\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$. El contenido de AT se analizó mediante el método de Antrona (McCready *et al.*, 1950). La absorbancia se midió en un espectrofotómetro modelo Spectronic 20 D marca Milton Roy Company a una longitud de onda de 625 nm.

2.2.5.4. Distribución de materia seca

Esta variable se evaluó el 20 de Febrero de 2014 (318 ddt), mediante análisis destructivos, separando de la planta hoja, tallo y raíz. Cada órgano fue pesado en fresco en una balanza digital marca OHAUS, y se colocaron en una estufa modelo BLUE M POM-246F a 70°C durante tres días hasta alcanzar su peso constante y se registró el peso seco, para ser expresado en (g) de materia seca.

2.2.6. Análisis de datos

Para el análisis de los resultados se utilizó un análisis de varianza con el procedimiento GLM utilizando el paquete estadístico (SAS versión 9.0) y prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05\%$).

2.3. RESULTADOS Y DISCUSION

2.3.1. Tasa Fotosintética (TF)

El comportamiento de la TF de las plantas madres juego un papel importante durante la multiplicación de la fresa, Cárdenas-Navarro *et al* (2006) mencionaron que las plantas hijas se basan principalmente en la translocación de asimilados de las plantas madres para su nutrición, hasta que sus hojas son fotosintéticamente activas. Los resultados de la evaluación de la TF (Figura 1) muestran que no hubo significancia entre tratamientos en cada fecha evaluada. A los 60 Ddt, periodo en el cual las plantas se encontraban en crecimiento, el cultivar Jacona presentó una tasa de asimilación de CO_2 ligeramente mayor $16.407 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en comparación con el cultivar Zamorana que presentó $15.886 \text{ CO}_2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Después de esta evaluación, las plantas continuaron su etapa de crecimiento vegetativo, igualmente se observa el surgimiento de los primeros estolones. Las tasas de asimilación alcanzadas a los 60 Ddt en ambos cultivares, se encontraron dentro de los intervalos

reportados por Hancock *et al* (1989) en plantas de fresa, los cuales se encuentran entre 11-16 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en invernadero.

En la segunda evaluación realizada a los 120 Ddt, periodo en el que se alcanzó la mayor producción de estolones, los dos cultivares presentaron la misma tendencia de disminución de la TF, en donde Zamorana registró $7.628 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ y Jacona asimiló $7.211 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Este comportamiento, podría ser explicado por Keutgen *et al* (1997) quienes mencionaron que la reducción de la tasa de fotosíntesis neta es menor en hojas jóvenes expuestas a 600 ppm de CO_2 por menos de 3 semanas, lo que indica que la reducción podría depender del periodo de exposición o de la edad de la hoja, en este caso como las tomas de lectura se realizaron en la misma hoja en las dos evaluaciones lo que explica que conforme la hoja va siendo más madura la capacidad de asimilación de CO_2 disminuye.

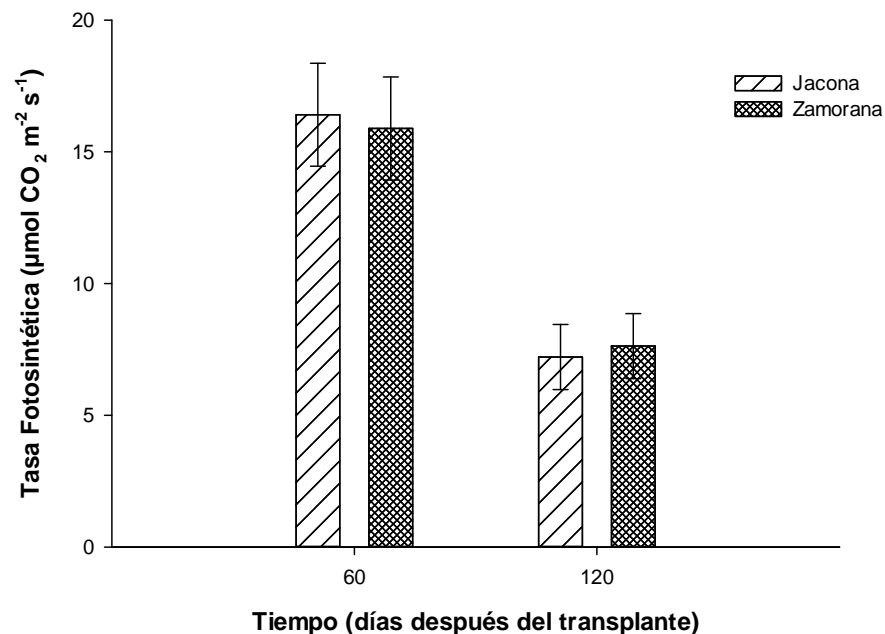


Figura 1. Tasa Fotosintética (TF) en plantas de fresa con categoría fundación, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo., de México. (Cada valor representa la media de 6 observaciones de acuerdo con Tukey, 0.05). Las barras verticales en cada columna representan el error estándar.

2.3.2. Tasa de transpiración (E)

La transpiración es un factor importante para el crecimiento normal de las plantas, puesto que ayuda a mantener un estado de turgor óptimo, la transpiración que origina la pérdida de agua mantiene la presión de turgencia por debajo de la presión osmótica (Nobel 1999). En la Figura 2 se presentan los valores de la tasa de transpiración a los 60 y 120 ddt, en los cuales no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, este parámetro disminuyó en función del tiempo. Los resultados indican que a los 60 ddt Jacona presentó mayores tasas de transpiración registrando $11.227 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en comparación con Zamorana que presentó $10.288 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

En la segunda fecha de evaluación (120 ddt) la tasa de transpiración disminuyó un 56.7 % en donde Jacona y Zamorana presentaron valores de 4.7724 y $4.5270 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ respectivamente. Este comportamiento de disminución en la transpiración fue observado por Keutgen *et al* (1997) en el cual la transpiración se vio afectada significativamente por la edad de la hoja no por las concentraciones de CO_2 , del mismo modo las hojas maduras se caracterizan por una transpiración más altas que las jóvenes y viejas, lo que podría explicar la disminución en las tasas de transpiración en la última fecha de evaluación ya que las hojas fueron más viejas.

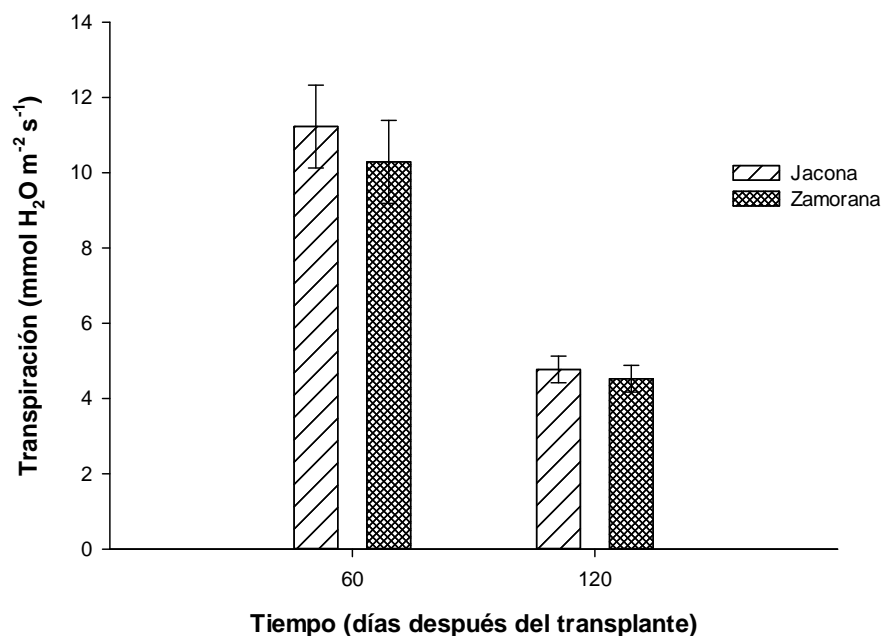


Figura 2. Tasa transpiración (E) en plantas de fresa con categoría fundación, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo., de México. (Cada valor representa la media de 6 observaciones de acuerdo con Tukey, 0.05). Las barras verticales en cada columna representan el error estándar.

2.3.3. Conductancia Estomática (g_s)

En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos de la conductancia estomática durante las dos fechas de evaluación, como en los casos anteriores, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, pero la g_s disminuyó a los 120 ddt. Los valores de la conductancia estomática a los 60 ddt fueron estadísticamente iguales entre tratamientos ya que Jacona presentó $0.25501 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y Zamorana $0.24961 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Mientras que a los 120 ddt, la g_s disminuyó a $0.2014 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en Jacona y a $0.20830 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en zamorana.

La conductancia estomática o apertura de estomas está relacionada con la capacidad de las plantas para asimilar CO_2 puesto que el cierre de los estomas limita un proceso clave como la fotosíntesis. De manera similar que la tasa de fotosíntesis neta y la transpiración, se observó que la conductancia estomática disminuyó respecto al tiempo. Keutgen *et al* (1997) mencionaron que las hojas medianas se caracterizan por tener conductancia estomática más altas que en hojas jóvenes y viejas, por lo que en este estudio, un aumento en la edad de la hoja pudo disminuir la (g_s). Este parámetro está altamente relacionado con la pérdida de agua, en este sentido Medrano *et al* (2002) afirma que los estomas se cierran frecuentemente en respuesta a la sequía antes de cualquier cambio en el potencial hídrico de la hoja.

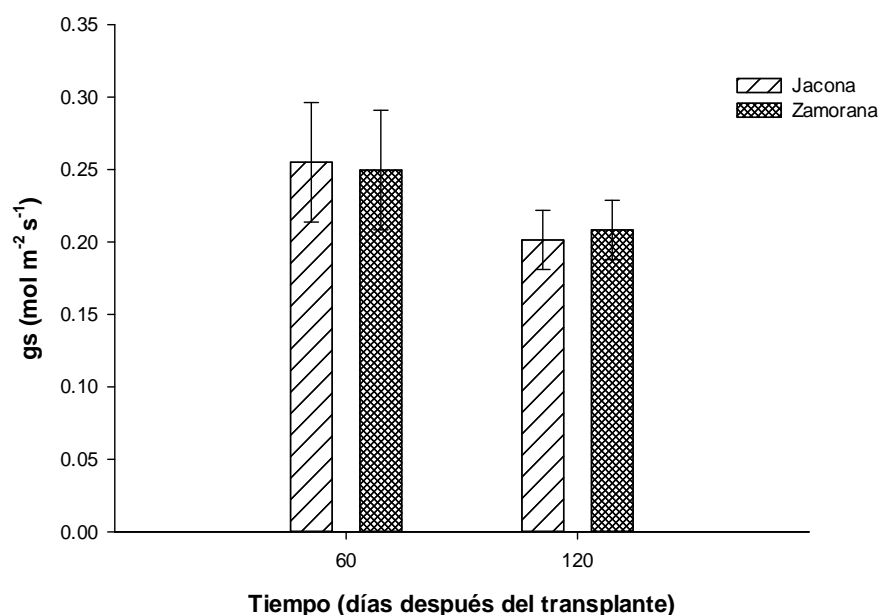


Figura 3. Conductancia estomática (g_s) en plantas de fresa con categoría fundación, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México. (Cada valor representa la media de 6 observaciones de acuerdo con Tukey, 0.05). Las barras verticales en cada columna representan el error estándar.

2.3.4. Capacidad de Propagación de Plantas Fundación

El Cuadro 1 muestra los resultados del conteo del número de estolones (NE) y número de plantas hijas (NPI) acumulados por planta madre de categoría fundación, se observó que el cultivar Zamorana fue significativamente superior ($p < 0.0323$) en el número de estolones por planta 11.14 lo que equivale a un 30% por encima del cultivar Jacona el cual tuvo 7.57 estolones. En cuanto al número de plantas hijas, de manera inverso al número de estolones, no hubo significancia entre cultivares ya el número acumulado en Jacona fue de 36 plantas hijas y en Zamorana fue de 35.6 de plantas hijas por planta madre.

Nuestros resultados se encuentran en el rango reportado por Rodríguez *et al* (2010) en donde el número de estolones fue de entre 6.4-9.6 en Zamorana y 4.4-9.2 para Jacona, por otra parte el número de plantas hijas fue de entre 13.6-43.8 en Zamorana y de 7.8-54.0 en Jacona, cabe señalar que estos parámetros fueron evaluados en plantas madres provenientes de propagación convencional en diferentes viveros, encontrándose que a mayor altitud disminuye la

producción de estolones y plantas hijas, lo cual fue atribuido a un efecto negativo en el crecimiento de las plantas producto de las menores temperaturas que se presentan a mayor altitud.

Algunos autores reportan la capacidad de las plantas madres provenientes de la micropropagación para la multiplicación en campo de estolones y plantas hijas. Nilsson (1997) obtuvo que plantas madres provenientes del cultivo de meristemos produjeron más estolones que las plantas de métodos convencionales. Por su parte Karhu y Hakala (2002) encontraron que las plantas micropropagadas variedades Zefyr y Senga Sengana tuvieron coronas más ramificadas que las plantas de propagación convencional, además las plantas micropropagadas de la variedad Senga Sengana produjeron mayor número de estolones durante el primer año, y crecieron con mayor vigor durante la segunda temporada de crecimiento, al igual que la variedad Zefyr durante las dos primeras temporadas de cultivo.

Cuadro 1. Número de estolones (NE), y número de plantas hijas (NPH) acumulados por planta madre de categoría fundación en cultivares mexicanos de fresa, propagadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo., de México.

Variedad	(NE)	NPH
Jacona	7.57 ± 0.91 b ^z	36.0 ± 5.25 a
Zamorana	11.14 ± 0.91 a	35.6 ± 5.25 a

^zMedias con letras distinta en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Cada valor representa la media de 6 observaciones ± error estándar.

2.3.5. Contenido de Azúcares Totales (AT)

Los carbohidratos constituyen un factor importante para el establecimiento de las plantas hijas y los rendimientos en campo (Supp y Hennion 1997). La evaluación de este parámetro es de importancia en la planta madre ya que el contenido de AT es un indicador de lo que la planta es capaz de proporcionar a los estolones y a su vez a las plantas hijas, ya que las plantas madres influyen en el crecimiento vegetativo de las plantas hijas (Kirschbaum *et al.*, 2000).

En el presente estudio el contenido de azúcares totales (AT) no mostró diferencias significativas entre cultivares, pero la concentración fue distinta de acuerdo al tipo de órgano (Cuadro 2). La hoja concentró el mayor contenido de AT con un promedio de 3.32% de peso fresco, en donde los cultivares fueron estadísticamente iguales; sin embargo, Zamorana fue numéricamente mayor (3.76) en comparación con el cultivar Jacona que registra (2.88). El tallo fue el segundo órgano con mayor contenido de AT ya que en promedio se registró 2.10% de peso fresco, de manera similar no se encontraron diferencias significativas entre cultivares. Evidentemente la raíz concentró el menor contenido de AT teniendo en promedio 0.56% de peso fresco.

Kirschbaum *et al* (2000) mencionaron que el apego de las plantas hijas y la temperatura disminuyen la concentración de carbohidratos solubles en las raíces y sugieren que junto con la formación de estolones y plantas hijas los cambios en la concentración de carbohidratos en las raíces pueden correlacionarse con los cambios en el crecimiento vegetativo. En este estudio una mayor concentración de AT en hojas y tallos se reflejó en un abundante desarrollo del área foliar, y la capacidad de producción de estolones y plantas hijas.

Cuadro 2. Contenido de Azúcares totales (AT) en plantas con categoría fundación de cultivares mexicanas de fresa, durante el periodo final de producción de estolones en condiciones de invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México

Variedad	Hoja	Tallo	Raíz	AT Totales
Jacona	2.88 ± 0.30 a	2.18 ± 0.19 a	0.55 ± 0.04 a	5.61 ± 0.45 a
Zamorana	3.76 ± 0.30 a	2.01 ± 0.19 a	0.58 ± 0.04 a	6.36 ± 0.45 a

Medias con letras distinta en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Cada valor representa la media de 3 observaciones ± error estándar.

2.3.6. Distribución de Materia Seca

La acumulación y distribución de materia es un parámetro que nos indica cual fue el órgano que fijó mayor cantidad de fotoasimilados, y puede ayudar a explicar la producción de estolones y plantas hijas.

En la Figura 4 se presentan los resultados de la evaluación de peso seco acumulado por planta, no se encontraron diferencias significativas por cultivar en hoja y tallo, en el contenido de materia seca pero si varió con respecto al órgano. La asimilación de peso seco se asignó en mayor proporción en hoja en ambas variedades con un promedio de 52.64% de materia seca por planta; sin embargo, Zamorana presentó mayor acumulación de materia seca en dicho órgano con 54.5 % por lo que probablemente contenía mayores reservas de carbono, lo que pudo favorecer la mayor producción de estolones (Cuadro 1). En sentido Acuña-Maldonado y Pritts (2008) mencionaron que los estolones no tienen la capacidad de asimilar suficiente carbono, por lo que requieren de la translocación de fotoasimilados, principalmente derivados de la hoja.

Con respecto al tallo o corona las plantas concentraron en promedio el 24.80% de su materia en dicho órgano, sin embargo numéricamente Zamorana tuvo mayor contenido en comparación con Jacona. En cuanto al órgano raíz la materia seca se concentró aproximadamente en 22.57% en dicho órgano y fue diferente entre cultivares ya que Jacona

fue superior con un 26.12% en comparación con Zamorana 19.01% de materia seca. Una mayor proporción de materia seca en raíz podría asociarse con un mayor crecimiento en dicho órgano como es el caso del cultivar Jacona, lo que sugiere que las plantas desarrollaron más tejido de almacenamiento en las raíces con y menos en hoja y tallo. Debnath *et al* (2007) encontraron que a menudo se observa el aumento de la ramificación y un crecimiento vegetativo vigoroso en las plantas propagadas mediante el cultivo de tejidos. Nuestros resultados sugieren que las plantas de cultivar Zamorana tuvieron mayor porte que Jacona ya que en términos totales acumuló mayor proporción de materia seca en hoja y tallo en comparación con la raíz. Es importante considerar que la distribución de materia seca puede cambiar durante el desarrollo de un cultivo, debido a los cambios en la potencia de demanda en los órganos individuales (Peil y Galvez, 2005).

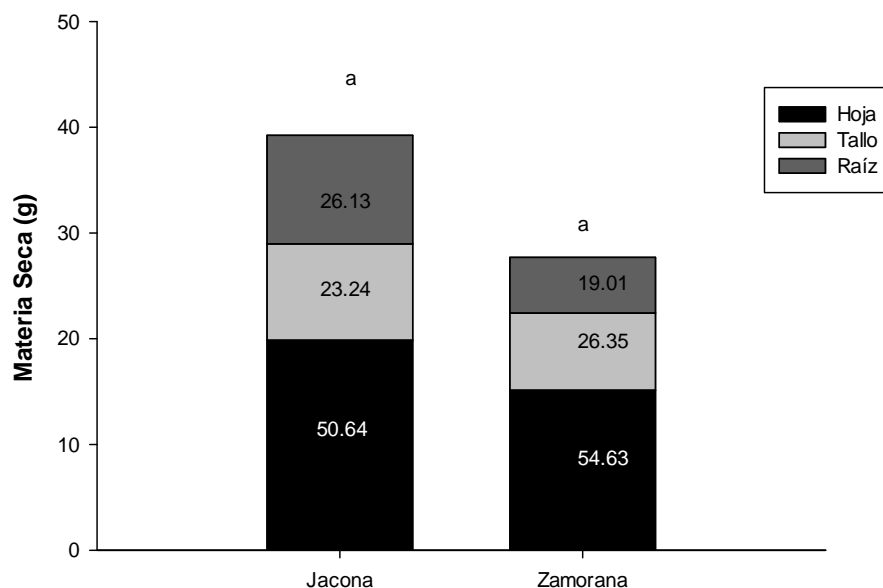


Figura 4. Distribución de materia seca acumulada de plantas de fresa con categoría fundación cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México. Cada valor representa la media de 6 observaciones respectivamente. (Columnas con letras iguales no son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05).

2.4. CONCLUSIONES

Los cultivares CP-Jacona y CP-Zamora con categoría fundación, muestran comportamiento similar en los parámetros tasa fotosintética, tasa de transpiración y conductancia estomática, los cuales disminuyen con respecto al tiempo de evaluación.

El contenido de azúcares totales y la distribución de materia seca no varían entre cultivares, pero si de acuerdo al tipo de órano, durante la propagación de las plantas fundación estos se contran en mayor proporción en hoja y menor en raíz.

Las plantas de fresa con cateoría fundación presentan alta capacidad de propagación.

El cultivar Zamorana presenta mayor capacidad de propagación de estolones por planta madre ya que supera con un 30% a Jacona; sin embargo, el número de plantas hijas no es diferente ya Jacona y Zamorana producen 36 plantas hijas por planta madre en condiciones de invernadero.

2.5. LITERATURA CITADA

- Acuña-Maldonado L.E. and M. P. Pritts. 2008. Carbon and nitrogen reserves in perennial strawberry affect plant growth and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 133(6): 735-742.
- Cárdenas-Navarro R., L. López-Pérez, P. Lobit, R. Ruiz-Corro and V.C. Castellanos-Morales. 2006. Effects of nitrogen source on growth and development of strawberry plants. *Journal of Plant Nutrition* 29(9): 1699-1707.
- Dávalos G.P.A., R. Aguilar-García, A.E. Jofre y Garfias, A.R. Hernández- Razo y M.N. Vázquez-Sanchez. 2011. Tecnología para sembrar viveros de fresa. Inifap Libro técnico núm. 3. INIFAP 153 p.
- Debnath S. C. and J. A. Teixeira da Silva. 2007. Strawberry culture in vitro: Applications in genetic transformation and biotechnology. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology* 1:1-12.
- Debnath S. C., P. Vyas, J. C. Goyali, and A.U. Igamberdiev. 2012. Morphological and molecular analyses in micropropagated berry plants acclimatized under ex vitro condition. *Canadian Journal of Plant Science* 189, 143, 78, 193.
- Debnath S.C. 2014. Strategies Approaches to Propagate Strawberry Nuclear Stocks Using a Bioreactor. *Acta Hort.* 1049, ISHS 149p.
- Hancock J. F., J. A. Flore and G. J. Galletta. 1989. Gas exchange properties of strawberry species and their hybrids. *Scientia Horticulturae* 40:139-144.
- Karhu, S. and Hakala, K. 2002. Micropropagated strawberries on the field. *Acta Hort. (ISHS)* 567: 321-324.
- Keutgen N., K. Chen, and F. Lenz. 1997. Responses of strawberry leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence and macronutrient contents to elevated CO₂. *J Plant Physiol* 150: 395-400.
- Kirschbaum D., D.J. Cantliffe, C.K. Chandler and R.L. Darnell. 2000. Initiation of flowering, runner formation, and carbohydrate distribution in Strawberry (*Fragaria* ×

ananassa Duch.) Mother and daughter plants grown at different temperatures. HortScience 35(3):622-628.

McCready R. M., J. Guggolz, V. Silveira and H. S. Owens. 1950. Determination of starch and amylase in vegetables. Revista Chapingo Serie Horticultura 18(1):113-123, 2012
Application to peas, Annals Chemical.

Medrano H. E., J.M. Bota, J.J. Gulías and J. Flexas. 2002. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive Drought; stomatal conductance as a reference parameter. Annals of Botany 89: 895-95.

Nilsson E. 1997. Certified plant production in sweden. Acta Hort. (ISHS) 439: 375-376.

Nobel P.S. 1999. Physicochemical and enviromental plant physiology. 2a edición. Academic Press. USA. 474 p.

Peil R.M. y J.L. Gálvez. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. R. bras. Agrociencia 11(1): 5-11.

Rodriguez-Bautista G., G. Caldero-Zavala, D. Jaen-Contreras y A. Curiel-Rodriguez. 2012. Capacidad de propagación y calidad de planta de variedades mexicanas y extranjeras de fresa. Revista Chapingo Serie Horticultura 18(1): 113-123

Schupp J. and B. Hennion. 1997. The quality of strawberry plants in relation to carbohydrate reserves in roots. Acta Hort. 439: 617-621.

Stapleton S.C., C.K. Chandler, D.E. Legard, J.E. Price and J.C. Sumler. 2001. Transplant source affects fruiting performance and pest of "Sweet Charlie" strawberry in Florida. Horticultural Technology 11: 61-65.

Zebrowska J.I., J. Czernas, J. Gawronski and J.A. Hortynski. 2003. Suitability of strawberry (Fragaria x ananassa Duch.) microplants to the field cultivation. Food. Agriculture and Environment 34: 190-193.

ANEXOS



a)



b)



c)

Figura 1: Producción de estolones en plantas de fresa con categoría Fundación en condiciones de invernadero. a) Inicio del periodo de producción de estolones, b) Producción de estolones y plantas hijas y c) Final del periodo de multiplicación en invernadero.



Figura 2: Calidad de plantas de fresa con categoría Fundación en condiciones de invernadero.

CAPÍTULO III. INDICADORES FISIOLÓGICOS DURANTE LA PRODUCCIÓN DE FRUTA EN PLANTAS REGISTRADAS DE CULTIVARES MEXICANOS DE FRESA

RESUMEN

Uno de los mayores problemas en el cultivo de fresa en México es que se basa principalmente en el uso de plantas certificadas provenientes del extranjero, en especial de E.U.A. En el presente estudio se evaluaron variables fisiológicas de plantas de fresa categoría Registrada de cultivares CP-Jacona y CP-Zamorana durante la producción de fruto en comparación con plantas de propagación convencional. La evaluación se realizó en invernadero, de Septiembre de 2013 a Abril de 2014. Los componentes del rendimiento evaluados fueron: rendimiento mensual, acumulado y peso de los receptáculos. Además se determinaron la tasa fotosintética (TF), tasa de transpiración (E), conductancia estomática (g_s), azúcares totales (AT) en hoja, corona y raíz, así como la partición de materia seca de la planta. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos; Jacona convencional (JC), Zamorana convencional (ZC), Jacona registrada (JR) y Zamorana registrada (ZR). La unidad experimental fue una maceta con una planta. El rendimiento mensual más alto se presentó en marzo, donde JC fue superior con 111.77 g/planta respecto a los demás tratamientos; sin embargo, el mayor peso por receptáculo se registró durante enero y febrero alcanzando hasta 14 g, mientras que el rendimiento acumulado no mostró significancia entre tratamientos. La TF, E y g_s fueron similares en plantas de categoría registrada y de propagación convencional y se observó que las mayores TF se registraron a los 93 ddt y disminuyeron exponencialmente a los 143 y 205 Ddt. No se detectaron diferencias en el contenido de AT en los cuatro tratamientos, pero hubo variación de acuerdo al tipo de órgano, concentrándose el mayor contenido en las hojas y menor en raíz. La distribución de materia seca no mostró diferencias significativas entre tratamientos, no obstante el receptáculo fue el órgano que acumuló más biomasa seca con valores de entre 65-70 %, seguido de hojas, coronas y raíces.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa*, rendimiento, tasa fotosintética, carbohidratos, materia seca.

ABSTRACT

One of the biggest problems in the strawberry crop in Mexico it is based mainly on the use of certified plants from abroad, specially USA. In the present study, physiological variables of registered category strawberry plants in the cultivars CP-Jacona and CP-Zamorana during the fruit production compared with the conventional propagated plants was evaluated. The evaluation was carried out in a greenhouse in September 2013 to April 2014. The yield components evaluated were: monthly and accumulated yield and, weight receptacles. Furthermore, photosynthetic rate (TF), total sugars (AT) in leaf crown and root as well as dry matter distribution was evaluated. A randomized complete design with four treatments was used; Conventional Jacona (JC), conventional Zamorana (ZC), registered Jacona (JR) and registered Zamorana (ZR). The experimental unit was a pot with one plant. The highest yield was obtained in March, where JC was higher with 111.77 g/plant compared with other treatments; however, the greater weight per receptacle is found during January and February, reaching up to 14 g, while the accumulated yield did not show significance between treatments. TF was similar between registered category plants and conventional propagated plants and also it is observed that the higher TF was founded at 93 ddt and exponentially decreased until 143 and 205 ddt. No differences were found between the four treatments in the AT content, but there was variation according to the type of organ, concentrating the highest content in leaves and the lowest in roots. The dry matter allocation did not show significance differences between the treatments, however, the greatest dry matter accumulation was found in the receptacle with values between 65-70%, followed by the leaves, crowns and roots.

Key words: *Fragraria x ananassa*, yield, photosynthetic rate, carbohydrates, dry matter.

3.1. INTRODUCCIÓN

La fresa es ampliamente cultivada debido a su alta capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales (Demirsoy *et al.*, 2010). Para el establecimiento de un sistema de producción, la disponibilidad de plantas de calidad es uno de los factores más importantes para la obtención de buenos rendimientos (Pertuzé *et al.*, 2006). Por lo tanto, la certificación en planta es necesaria para todo aquel que se dedique a la comercialización (Boxus y Larvor, 1987). Los sistemas de certificación difieren en el número de generaciones clonales a las que se somete la planta libre de virus o llamada categoría nuclear. Uno de los sistemas de certificación más utilizados es el de California E.U. A., el cual propone hasta 5 generaciones clonales convencionales descendientes del stock nuclear, este tipo de planta procede directamente de la categoría registrada y es denominada Certificada, la cual se utiliza para la producción de fruto, hasta ahora las variedades de California son la base del cultivo de fresa en México (Davalos *et al.*, 2011). Esta dependencia tecnológica respecto al uso de variedades extranjeras generadas por la Universidad de Florida y California y recientemente de España, constituye uno de los mayores problemas para el establecimiento de viveros (Fondo Sectorial de Investigación, en materia Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Filogenéticos, 2012).

Con la finalidad de contribuir a la disminución de esta problemática, en el Colegio de Postgraduados se han liberado las variedades CP-Jacona y CP-Zamorana con los títulos de obtentor número 0500 y 0501 respectivamente, otorgados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Diario Oficial, 2010), de las cuales ya se tienen registros sobre la respuesta fisiológica, producción y capacidad de propagación, dichos estudios han sido realizados en plantas de propagación convencional. Los métodos más importantes para la propagación de la planta de fresa son la propagación convencional a partir de estolones producidos en campo, y la micropropagación la cual se realiza en laboratorio (Libek y Kikas, 2003).

Las técnicas de cultivo de tejidos son una herramienta importante en los programas modernos de mejoramiento de plantas, con el objetivo de multiplicar selecciones élite o preservar características de cultivares adecuados en menor tiempo (Taji *et al.*, 2002). Entre las técnicas destaca el cultivo de meristemas, que ha sido utilizado para la eliminación de virus. Además

existen evidencias de que la micropropagación tiene ventajas sobre la producción de plantas con capacidad para producir mayor número de estolones (Zebrowska *et al.*, 2003). Sin embargo, existen diversas opiniones acerca del potencial de rendimiento de las plantas micropropagadas, hay quienes afirman que éstas no poseen ventaja significativa en comparación con las plantas propagadas de forma convencional (Cameron *et al.*, 1989; Damiano, 1980).

La distribución de materia seca (fundamentalmente fotoasimilados) entre los distintos órganos de demanda se denomina partición y es un parámetro muy importante en la determinación de la productividad (García y Guardiola, 2003). Por lo tanto, el rendimiento total de fruta de una planta, se puede considerar en gran medida el resultado de la partición de la materia seca (Chandler *et al.*, 2012). El rendimiento es una variable que se compone del número de receptáculos y su peso seco, el cual se ve afectado por el número total de aquenios y la materia seca acumulada en éstos. Además el incremento de la materia seca puede estar relacionado con un aumento en los hidratos de carbonos no estructurales procedentes de las mayores tasas de fotosíntesis neta de la fresa (Sun *et al.*, 2012).

Una alta productividad en el cultivo de fresa requiere tanto de altas tasas de asimilación neta de CO₂ como de una partición de carbohidratos óptima entre órganos de demanda reproductivos y vegetativos, ya que estos compiten por una disponibilidad de fotoasimilados (García y Guardiola, 2003; Darnell, 2003).

El esquema de certificación de la comisión de la Fresa del Estado de California E.U.A., plantea la nomenclatura de acuerdo con las cinco generaciones clonales convencionales a partir del stock nuclear, antes de ser establecidas para la producción de fresa: 1. Incremento de la planta nuclear, 2. Planta fundación, 3. Planta registrada y 4. Planta certificada (Davalos *et al.*, 2011). El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la capacidad de producción, así como la respuesta fisiológica de plantas con categoría Registrada, durante la producción de fruta, para poder determinar si es posible reducir un ciclo más la propagación en campo.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Localización

El experimento se realizó en un invernadero tipo túnel de 15 x 30 m, en el campo experimental San José perteneciente al Posgrado de Fruticultura ubicado en el Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, en Texcoco Estado de México. El cual se encuentra a una altitud de 2250 m, el clima es templado con temperatura media anual de 15.35 °C y una precipitación media anual de 574.25 mm.

3.2.2. Material vegetal

En la segunda fase del experimento se utilizaron dos tipos de plantas de fresa de los cultivares -CP-Jacona y -CP-Zamorana categoría registrada y de propagación convencional plantas de fresa. Para el experimento las plantas con categoría registrada fueron obtenidas a partir de la multiplicación por estolones de las plantas categoría fundación del primer experimento, se eligieron las que presentaron buen sistema radical, adecuado grosor en corona y con características de vigor. Se compararon contra plantas de fresa de los mismos cultivares, obtenidas por el método de propagación convencional.

3.2.3. Establecimiento

En el experimento se utilizaron dos tipos de plantas de fresa: categoría registrada y convencional. Se establecieron el 4 de Septiembre de 2013 en invernadero con la finalidad de evaluar variables fisiológicas: TF, E y g_s durante el periodo de producción de frutos, el contenido de azúcares solubles totales (AT) y la como la acumulación de materia seca de las plantas durante el periodo final de la producción de frutos. Además de evaluar la producción de fruto. Las plantas fueron sumergidas en una solución de captan durante quince minutos antes de plantarse en bolsas de plástico negro con capacidad de 2.5 kg cuyo sustrato consistió en una mezcla de suelo de campo, Agrolita y Peat Moss en una relación 2:1:1 v/v sin esterilizar. Las plantas fueron regadas diariamente y fertilizadas con Nitrofosca de acuerdo a los requerimientos de las plantas, de forma manual.

3.2.4. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, las plantas registradas y convencionales de los cultivares \varnothing CP-Jacona y \varnothing CP-Zamorana \varnothing fueron estudiados como tratamientos, tales como Jacona convencional (JC), Zamorana convencional (ZC), Jacona registrada (JR) y Zamorana registrada (ZR), en donde la unidad experimental fue una maceta con una planta, se utilizaron 27 repeticiones por tratamiento (108 plantas).

Se realizaron muestreos de cinco plantas por tratamiento para las variables fisiológicas TF, E y g_s , seis plantas por tratamiento para la partición de materia seca, y de tres plantas para azúcares solubles totales (AT). Para los componentes del rendimiento se utilizaron 27 plantas por tratamiento. En todos los muestreos cada planta fue considerada como una repetición.

3.2.5. Variables respuesta

3.2.5.1. Evaluación de la producción

La evaluación de la producción se realizó con el objetivo de comparar la capacidad de producción de fruto de las plantas registradas contra con las plantas de propagación convencional. Esta se realizó de Noviembre de 2013 a Abril de 2014. Los receptáculos se cosecharon semanalmente en etapa de madurez comercial ($\frac{3}{4}$ de la superficie del receptáculo con coloración roja). Esto se realizó semanalmente y se contabilizó el número de receptáculos por planta y su peso fresco, estos datos se utilizaron para determinar el rendimiento mensual y acumulado por planta. El peso fresco se obtuvo usando una balanza OHAUS MODELO LS200 y los datos se expresaron en gramos (g).

3.2.5.2. Asimilación de gases

Las variables fisiológicas tasa fotosintética (TF), tasa de transpiración (E) y la conductancia estomática (g_s) se realizaron mediante un sistema portable de fotosíntesis LICOR-6400 XT (LICOR, Nebraska, EUA.) en tres fechas: el 6 de Diciembre de 2013 (93 ddt), 25 de Enero de 2014 (143 ddt) y el 28 de Marzo de 2014 (205 ddt), se midió el foliolo apical de la hoja madura completamente expandida entre las 11:00 am a 1:00 pm. La tasa fotosintética (TF) se expresó en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, la tasa de transpiración (E) en $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y la conductancia estomática (g_s) en $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, ésta última solo se registró a los 143 y 205 Ddt.

3.2.5.3. Contenido de azúcares totales (AT)

Esta variable se consideró con la finalidad de comparar el contenido de azúcares totales presentes en las plantas durante el periodo final de producción de la fruta. Las plantas se separaron por órganos, utilizando 500 ± 50 mg de muestra en hoja, tallo y raíz. Las muestras se lavaron con alcohol al 80% y se extrajeron los azúcares a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Después de la concentración de los extractos de azúcar se adicionó 1 mL de agua destilada para homogeneizar la suspensión. Para el cálculo apropiado de azúcares se realizó una curva de calibración de glucosa con un intervalo de $0\text{-}250\text{ }\mu\text{g }\mu\text{L}^{-1}$. El contenido de AT se analizó mediante el método de Antrona (McCready *et al.*, 1950). La absorbancia se midió en un espectrofotómetro modelo Spectronic 20 D marca Milton Roy Company a una longitud de onda de 625 nm.

3.2.5.4. Distribución de materia seca acumulada

La distribución de materia seca se evaluó el 14 de Julio (313 Ddt) mediante análisis destructivo, separando de la planta hoja, tallo raíz y receptáculo. Cada órgano fue pesado en fresco en una balanza digital marca OHAUS, y se colocaron en una estufa modelo BLUE M POM-246F a 70°C durante tres días hasta alcanzar su peso constante y se registró el peso seco, para ser expresado en gramos (g) de materia seca. Se calculó el peso seco del receptáculo con dicho dato más el peso fresco total de frutos cosechados para estimar el peso seco total de frutos por repetición.

3.2.9. Análisis estadístico

Para el análisis de los resultados se utilizó un análisis de varianza con el procedimiento GLM utilizando el paquete estadístico (SAS versión 9.0) y prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05\%$).

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Rendimiento Mensual

Las plantas micropropagadas tienen la capacidad para producir mayores rendimientos y mayor peso en los receptáculos durante los primeros dos años (Litwinczuck, 2004). Los resultados de la Figura 1 muestran que el rendimiento de los cuatro tratamientos fue igualmente competitivo en enero y abril. Por otro lado en los meses de noviembre, diciembre, febrero y marzo, hubo variabilidad en la producción de receptáculos en los cuatro tratamientos.

Al inicio del periodo de producción, durante el mes de noviembre ZR fue significativamente superior ($p < 0.0334$) ya que produjo 32.3 g en comparación con los demás tratamientos. Para el mes de diciembre JC mostro un rendimiento significativamente superior ($p < 0.0615$) ya que produjo 42.66g/planta, en contraste con ZR que produjo 23.49g, ZC y JR tuvieron rendimientos similares entre ellos. En el mes de enero no hubo diferencias significativas entre tratamientos, pero numéricamente ZC fue más productiva. Para el mes de febrero ZC fue superior ($p < 0.0641$) respecto de los demás tratamientos ya que produjo 71.13g. En el mes de marzo se concentró la mayor producción, en donde JC fue significativamente superior ($p < 0.0651$) con 111.8 g/planta, por el contrario ZR únicamente produjo 66.71g/planta, mientras tanto ZC y ZR mostraron rendimiento similares entre ellos. En el siguiente mes el rendimiento disminuyó en los cuatro tratamientos.

El máximo rendimiento quizá se deba a que las plantas fueron establecidas en septiembre lo que pudo originar un retraso en la cosecha, puesto que en las regiones productoras la plantación inicia desde julio y agosto. Otro elemento implicado en el rendimiento, podría ser la edad de la planta al final del periodo de cosecha, al respecto (Verheul *et al.*, 2006) mencionaron que plantas de mayor edad inducen la floración en condiciones desfavorables en mayor proporción que las plantas jóvenes. En este estudio, las plantas alcanzaron los mayores rendimientos en marzo cuando las temperaturas fueron más elevadas.

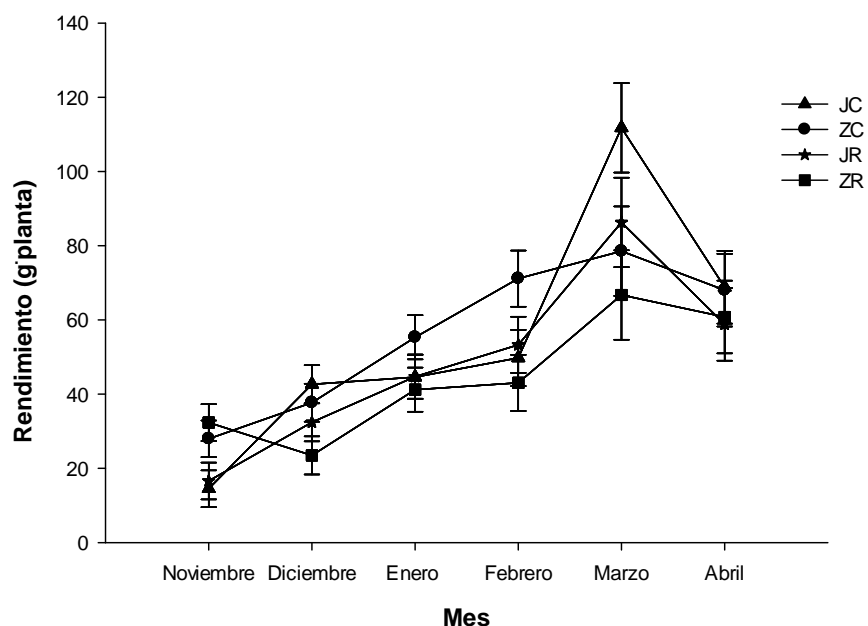


Figura 1. Rendimiento mensual en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México. (Cada valor representa la media de 27 observaciones, columnas sin letras son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05). Las barras verticales en cada punto representan el error estándar.

3.3.2. Número de receptáculos por Planta

El número de receptáculos por planta fue proporcional al rendimiento mensual, ya que a mayor rendimiento hubo mayor número de receptáculos. Al inicio del periodo productivo (Figura 2) ZR fue superior ($p < 0.0374$) ya que presentó dos receptáculos mientras que el resto de los tratamientos sólo tuvo uno. De noviembre a abril no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Para el mes de diciembre los cuatro tratamientos tuvieron 3.5 infrutescencias/planta manteniéndose constante hasta febrero.

En el mes de marzo el promedio fue de 7 receptáculos, no obstante a partir de este mes el peso disminuyó posiblemente por las altas temperaturas registradas en marzo y abril en comparación con las de diciembre a febrero. En este sentido Wang y Camp (2000) mencionaron que cuando las temperaturas rebasan los 30°C el tamaño de la fruta se reduce.

Aun cuando el mayor número de receptáculos por planta se concentró en marzo y abril no significa la mayor productividad, puesto que debe considerarse el peso fresco, en este caso los resultados indican que el número no fue proporcional al peso. Verheul *et al* (2006) y Hancock y Bringhurst (1988) reportaron que el aumento del número de flores y un gran número de frutos no necesariamente aumentan la productividad y tampoco conducirán a un mayor rendimiento comercial.

Tomando en cuenta lo anterior, las plantas con categoría registrada presentaron una respuesta similar en cuanto a la producción del número de receptáculos en comparación con las plantas de propagación convencional. De la misma manera Karhu y Hakala (2002) encontraron que las plantas micropropagadas de variedad Zefyr y Senga Sengana en su segundo año de siembra, no presentan ninguna diferencia durante la floración y producción de fruta en comparación con las plantas propagadas convencionalmente.

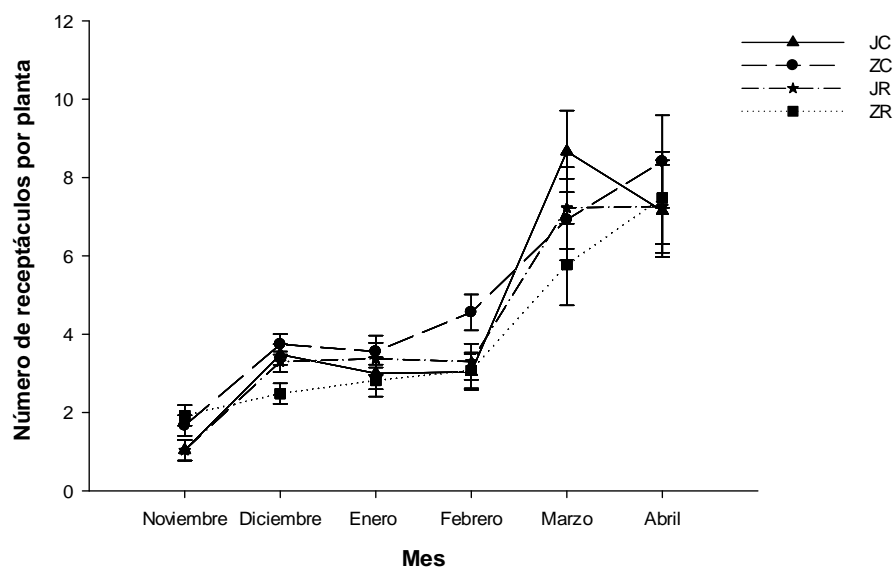


Figura 2. Número de receptáculos/planta en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México. (Cada valor representa la media de 27 observaciones, columnas sin letras son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05). Las barras verticales en cada punto representan el error estándar.

3.3.3. Peso de los receptáculos

El peso del fruto es un factor importante ya que tiende a asociarse con mayor tamaño y mayor calidad (Mitcham *et al.*, 1998). Los resultados obtenidos en este trabajo representan una medida cercana al tamaño preciso de los receptáculos registrados mensualmente (Figura 3). El peso de los receptáculos de los cuatro tratamientos fueron igualmente competitivos en los meses de noviembre, enero, febrero y marzo.

En el mes de noviembre, el peso fue estadísticamente igual entre tratamientos; sin embargo numéricamente ZC fue superior a los demás tratamientos con 13.97g. Para el mes de diciembre, JC fue estadísticamente superior ($p < 0.0363$) ya que registró receptáculos de 10.66 g caso contrario a ZR ya que registró 7.49g, ZC y JR fueron similares 9.01 y 10.2g respectivamente. En este mes y en abril JC presentó receptáculos de mayor peso respecto a los demás tratamientos. El mayor tamaño de los receptáculos se concentró en los meses de enero y febrero, en donde se alcanzaron hasta 14 y 15 g, no hubo significancia entre tratamiento; sin embargo, las plantas convencionales fueron superiores que las plantas categoría registrada. Este aumento en el peso coincide con las principales regiones productoras, en donde los receptáculos se cosechan hasta febrero y es destinado al mercado de exportación. Dicho aumento en el peso coincide con la disminución en la tasa fotosintética a los 143 ddt, posiblemente causada por el incremento de temperaturas durante febrero.

Darrow (1936) mencionó que la temperatura y el fotoperiodo son los factores ambientales más importantes que regulan la transición del crecimiento vegetativo al floral en fresa. En este caso, un aumento en la producción y peso de los receptáculos probablemente ocasionó mayor demanda de fotoasimilados en este órgano, y una disminución en la asimilación de CO₂ en las hojas. A partir de marzo el peso disminuyó paulatinamente y fue estadísticamente igual entre tratamientos, aunque JC tuvo valores superiores a 12.7g en comparación con ZC, JR y ZR que en promedio registraron 10g/receptáculo. Mientras que en el mes de abril, JC fue significativamente superior ($p < 0.0216$), ya que produjo receptáculos de mayor peso (8.59g), en comparación con ZR (5.7g). Son claras las diferencias de peso de los receptáculos en los cuatro tratamientos durante las fechas evaluadas, ya que fueron mayores a inicios del periodo de producción (noviembre) y mitad del periodo de producción (enero y febrero), disminuyendo al final del ciclo. En relación a esto, MacKenzie *et al* (2011) mencionaron que

al inicio de la producción predominan receptáculos más grandes y tienden a disminuir su tamaño al término de éste. Esta capacidad de las plantas registradas para producir receptáculos de tamaños similares a las plantas convencionales fue reportada por López *et al* (1997) en donde independientemente del método de propagación las plantas micropropagadas variedad Chandler de la primera y segunda generación no presentaron diferencias en el tamaño de la fruta.

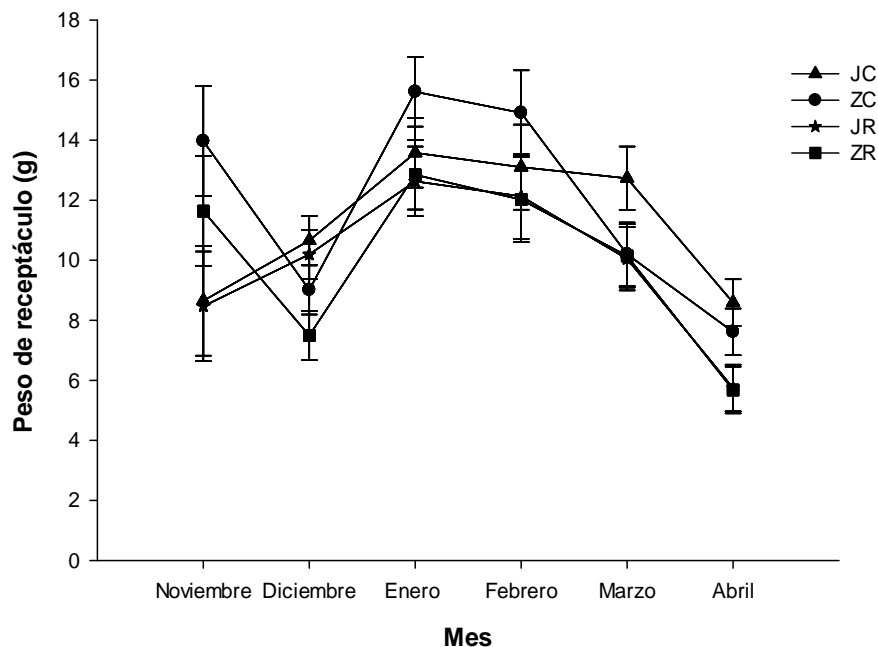


Figura 3. Peso promedio por receptáculos en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México. (Cada valor representa la media de 27 observaciones, columnas sin letras son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05). Las barras verticales en cada punto representan el error estándar.

3.3.4. Rendimiento Acumulado

Se ha observado que en ocasiones las plantas micropropagadas obtienen mayores rendimientos, pero el tamaño promedio del receptáculo es menor, aunque no todos los cultivares presentan el mismo comportamiento (Szczygiel y Borkowska, 1997; Cameron *et al.*, 1989). En la Figura 4 se muestran los resultados el rendimiento acumulado, el cual no mostró significancia entre tratamientos, no obstante las plantas convencionales presentaron rendimientos numéricamente superiores, ya que JC produjo 332.13g y ZC 338.63g por planta, en comparación con JR y ZR las cuales produjeron 292.14 y 267.5g respectivamente. Estas diferencias probablemente se deban a diferencias en los requerimientos nutricionales de las plantas micropropagadas respecto a las propagadas convencionalmente por lo que sería ideal contar con programas de fertilización específicos (Szczygieł y Borkowska, 1997).

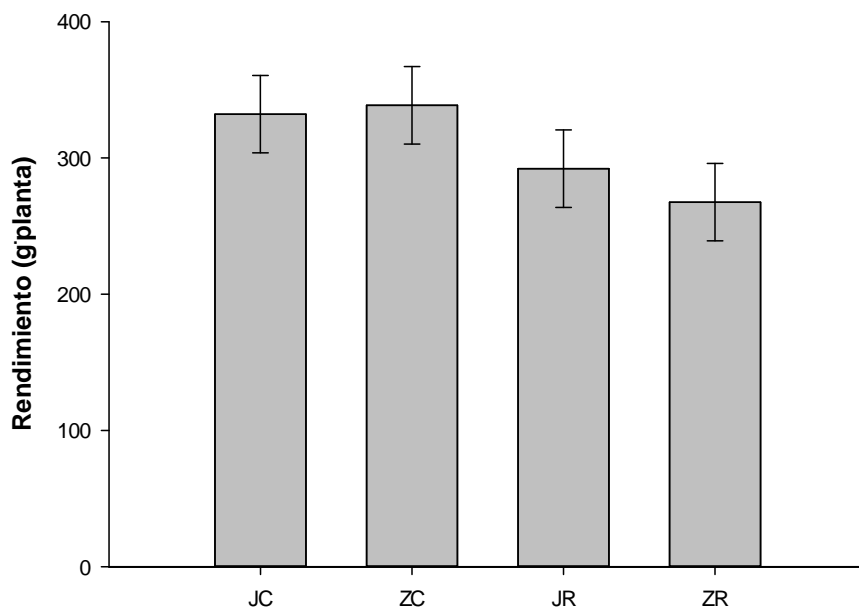


Figura 4. Rendimiento acumulado en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México. (Cada valor representa la media de 27 observaciones, columnas sin letras son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05). Las barras verticales en cada punto representan el error estándar.

2.3.5. Tasa Fotosintética (TF)

La tasa de asimilación de CO₂ se ve influenciada por diversos factores como la luz, temperatura, disponibilidad de nutrientes, concentración de CO₂, estado de desarrollo, cultivar o método de propagación (Dale y Luby, 1990). Los resultados en la Figura 5 muestran que no hubo diferencias significativas entre tratamientos durante las tres evaluaciones.

A los 93 ddt, se registró una TF promedio de hasta 18 μmol CO₂ m⁻² S⁻¹. Estos valores indican que las plantas con categoría registrada y de propagación convencional presentan un comportamiento similar registrando TF dentro de los intervalos reportados por Hancock *et al* (1989) para *Fragaria x ananassa* Duch en condiciones de invernadero, donde encontraron un intervalo de TF de 15-22 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ en condiciones de campo y de 11-16 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ en invernadero.

En la segunda fecha de evaluación (143 ddt) hubo una disminución en la TF de hasta 13 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ (Figura 5). En la última evaluación (205 ddt) las TF disminuyeron hasta 12.3 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, excepto ZR que aumentó su TF a 14.3 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹. La disminución de la TF a los 143 Ddt coincide con un aumento en la producción de receptáculos con mayor peso durante los meses de enero y febrero, además se observó que este parámetro disminuyó en cada fecha de evaluación durante el periodo de producción. Este comportamiento coincide con lo reportado por Carlen *et al* (2009) quienes encontraron que la fotosíntesis neta aumentó de inicios a mediados de cosecha y disminuyó hasta el final de ésta. Conjuntamente los autores afirman que dichos cambios de fotosíntesis parecen estar relacionados con la relación fuente-demanda, ya que a mitad del periodo de la cosecha la cantidad de receptáculos es más alta. Por otro lado es posible que la disminución de la TF esté relacionada con el aumento de temperaturas a partir de febrero, como lo reportan Harbut *et al* (2010) en donde las temperaturas fuera del intervalo óptimo (18-23°C) ya sea menores (10-15°C) o mayores (25-30°C) disminuyeron las tasas de intercambio neto de carbono.

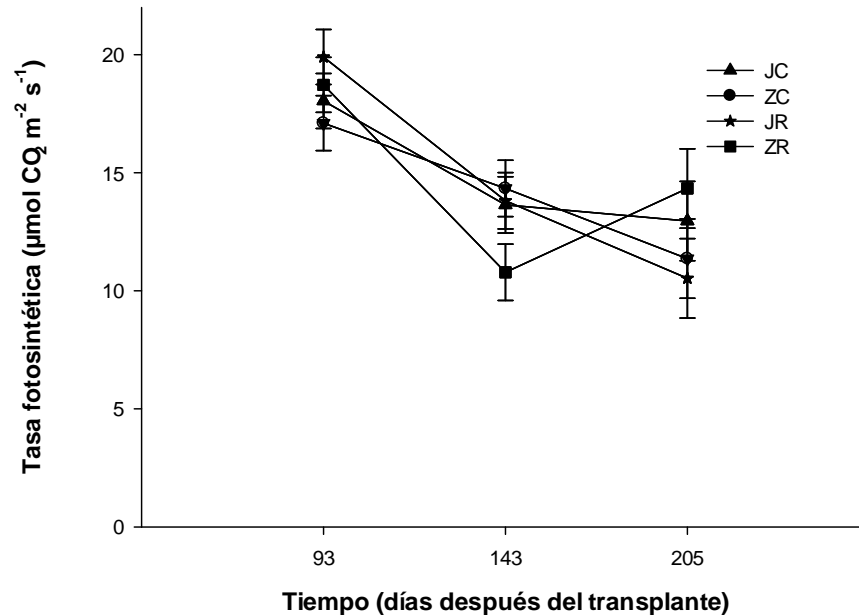


Figura 5. Tasa Fotosintética (TF) en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México. La Radiación fotosintéticamente activa (RFA en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y Temperatura (T en $^{\circ}\text{C}$) fueron las siguientes: 93 ddt= 1008.32 ± 257.38 , $T=30.05 \pm 0.56$; 143 ddt= 792.81 ± 161.90 , $T=31.94 \pm 1.28$; 205 ddt= 1237.77 ± 93.04 , $T=41.43 \pm 1.73$. (Cada valor representa la media de 5 observaciones de acuerdo con Tukey, 0.05). Las barras verticales en cada punto representan el error estándar.

3.3.6. Tasa de Transpiración (E)

La transpiración es influenciada por diferentes factores, Anderson (1982) mencionó que los más importantes son los factores ambientales como la luz, temperatura y humedad relativa que afectan directamente la presión de vapor del agua en la hoja. En la Figura 6 se observa que la E en plantas categoría registrada y de propagación convencional fue estadísticamente igual y hubo un aumento en cada una de las tres fechas de evaluación durante la época de producción de fruto.

Los resultados indican que el comportamiento de esta variable fue inverso al de la TF, en este sentido, Keutgen *et al* (1997) encontraron que la transpiración en fresa es afectada significativamente por la edad de la hoja y no por las concentraciones de CO₂. A los 93 ddt, los cuatro tratamientos presentaron una E de 5.50 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ en promedio, mientras que a los 143 ddt se registró una E de 7.34 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ siendo numéricamente menor en ZR (5.68 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). En la última evaluación a excepción de JR, la E aumentó a un promedio de 9.6 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, estos cambios en la E podrían deberse al incremento en las temperaturas de febrero a marzo.

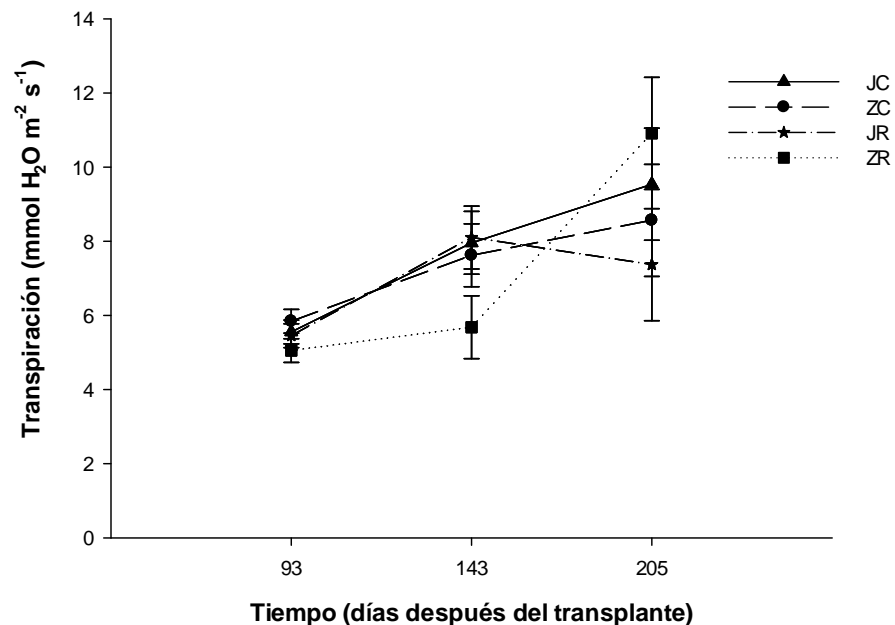


Figura 6. Tasa de transpiración (E) en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México. La Radiación fotosintéticamente activa (RFA en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y Temperatura (T en °C) fueron las siguientes: 93 ddt= 1008.32 ± 257.38 , $T=30.05 \pm 0.56$; 143 ddt= 792.81 ± 161.90 , $T=31.94 \pm 1.28$; 205 ddt= 1237.77 ± 93.04 , $T=41.43 \pm 1.73$. (Cada valor representa la media de 5 observaciones de acuerdo con Tukey, 0.05). Las barras verticales en cada punto representan el error estándar.

3.3.7. Conductancia Estomática (g_s)

La importancia de este parámetro radica en se asocia al flujo de vapor de agua del exterior y el CO_2 dentro del espacio intercelular, asimismo se ha observado la relación entre ésta y las tasas de intercambio de carbono (Harbut *et al.*, 2010). En este estudio se observó el mismo comportamiento de la g_s entre plantas de categoría registrada y de propagación convencional.

En la Figura 7 se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de la conductancia estomática a los 143 y 205 ddt, en donde no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo este parámetro disminuyó conforme transcurría el periodo de producción. Esta respuesta de las plantas categoría registrada sobre la g_s junto con la TF y la E, contribuyen en la capacidad de producción y rendimiento de fruto, en este caso una mayor apertura de estomas a los 143 ddt posiblemente permitieron una mejor captación de CO_2 .

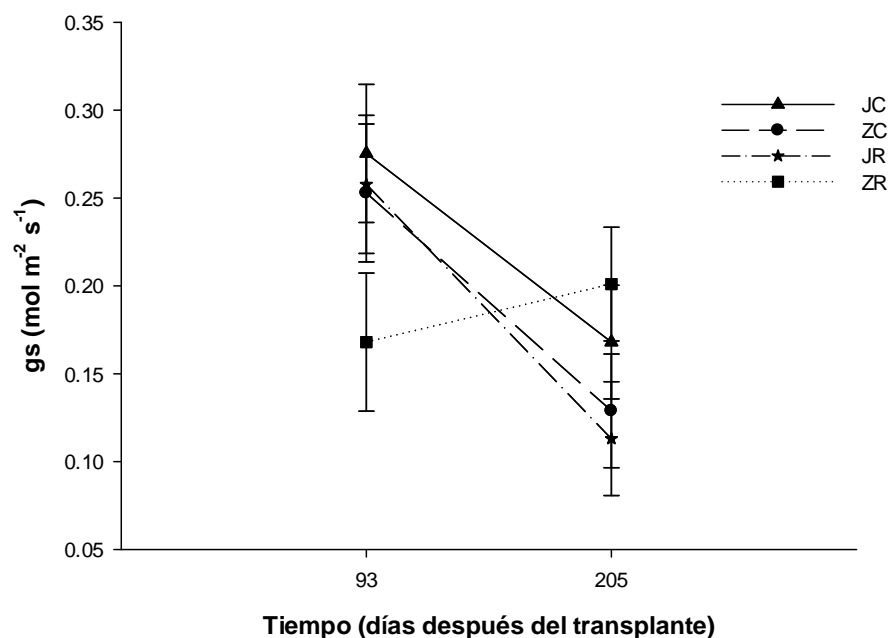


Figura 7. Conductancia estomática (g_s) en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México. La Radiación fotosintéticamente activa (RFA en $\mu mol m^{-2} s^{-1}$) y Temperatura (T en $^{\circ}C$) fueron las siguientes: 93 ddt= 1008.32 ± 257.38 , $T=30.05 \pm 0.56$; 143 ddt= 792.81 ± 161.90 , $T=31.94 \pm 1.28$; 205 ddt= 1237.77 ± 93.04 ,

T=41.43±1.73. (Cada valor representa la media de 5 observaciones de acuerdo con Tukey, 0.05). Las barras verticales en cada punto representan el error estándar.

3.3.8. Contenido de Azúcares Totales (AT)

La Figura 8 muestra el resultado de la evaluación de los azúcares totales, en los cuales no se encontraron diferencias significativas en la hoja, el cual fue el órgano que concentró el mayor contenido de AT con valores de entre 2.85%-3.8 % de peso fresco, en donde las plantas de propagación convencional tuvieron un promedio de 3.13% y las registradas 3.7% de peso fresco. Tal vez, estos resultados se pueden deber a que las hojas son el órgano dominante en la fijación de carbono además de ser el principal sitio donde se sintetizan los carbohidratos (Carlen *et al.*, 2009).

En lo que se refiere al tallo o corona, no hubo diferencias significativas entre tratamientos, con intervalos de 1.42%-1.72% de peso fresco. Mientras que las plantas convencionales registraron 1.53% y las de categoría registrada 1.57% de peso fresco. Por otro lado, los cuatro tratamientos fueron estadísticamente iguales en el órgano raíz, el cual presentó el menor contenido de AT con valores de 0.58%-0.87%, en este órgano la plantas convencionales presentaron 0.67% de peso fresco y las plantas de categoría registrada el 0.77 % de peso fresco. En este sentido Nishizawa (1998) encontró que la disminución de los niveles de azúcares en las raíces durante el desarrollo y maduración de los receptáculos, pueden ser causados por la translocación de los carbohidratos previamente acumulados en raíces. Acuña-Maldonado y Pritts (2008) encontraron que con el aumento de reservas de nitrógeno, las plantas mostraron una disminución drástica en las reservas de carbohidratos totales en las raíces, principalmente cuando los carbohidratos totales son adicionados mediante la aplicación foliar.

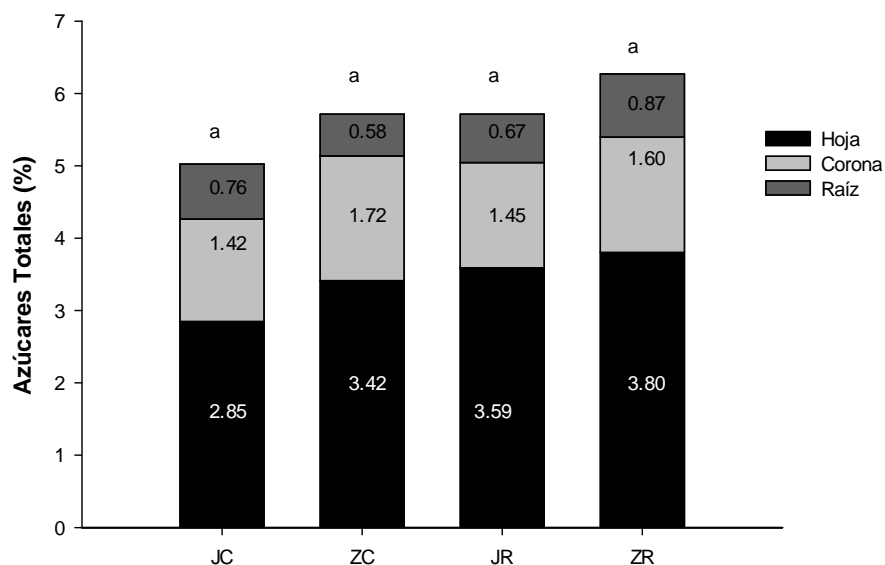


Figura 8. Azúcares totales de plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México. Cada valor representa la media de 3 observaciones respectivamente. (Columnas con letras iguales no son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05).

3.3.9. Distribución de Materia Seca Acumulada

La distribución y acumulación de materia seca varía de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo ya que en el transcurso del periodo de fructificación las plantas acumulan significativamente menor materia seca en raíces, corona y hojas en comparación con las plantas no fructificantes (Darnell, 2003). En este estudio la partición de materia seca se vio fuertemente influenciada por la fructificación.

Los resultados presentados en la Figura 9 respecto de la variable peso seco acumulado, indican que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, pero si varió con respecto del tipo de órgano. La mayor acumulación de materia seca en los cuatro tratamientos corresponde al receptáculo con valores de entre 63 y 71%, donde numéricamente las plantas de propagación convencional tuvieron la mayor asignación de materia seca en comparación con las plantas registradas. Nuestros resultados se encuentran por encima de los reportados por Nishizawa (1998) quien encontró que el receptáculo de la fresa fue el órgano de mayor

demanda para los fotoasimilados, y más del 50% del carbono exportado de las hojas más jóvenes expandidas se acumuló en las inflorescencias durante el estado de maduración.

La materia seca repartida en hoja en los cuatro tratamientos fue de 18 a 24.15% en donde JC presentó menor contenido (18.69%) en comparación con JR (24.15%). En cuanto a la materia seca acumulada en tallo o corona se encontraron valores de entre 5-7.16%. Por su parte, la raíz tuvo la menor acumulación de peso seco entre tratamientos ya que acumuló entre 4-5% de la biomasa total, en este caso, la fructificación pudo haber afectado el contenido de materia seca de las raíces. Nishizawa (1994) encontró que las plantas de fresa ‘Yachiyø’ en estado de fructificación tenían raíces menos blancas y más obscurecidas que las plantas no fructificantes, por lo tanto, la escasez de raíces durante la maduración del receptáculo puede inducir la muerte de las raíces viejas, lo que puede explicar la disminución en el peso seco de la raíz en este estudio. Sun *et al* (2012) mencionaron que el rendimiento de fruto por planta se compone del peso seco y número de frutos, en este sentido nuestros resultados indican que aunque hay una ligera superioridad numérica de las plantas de propagación convencional sobre las plantas registradas, no obstante éstas últimas son igualmente eficientes en la acumulación de materia seca total del fruto, el cual es el órgano de mayor interés para los productores.

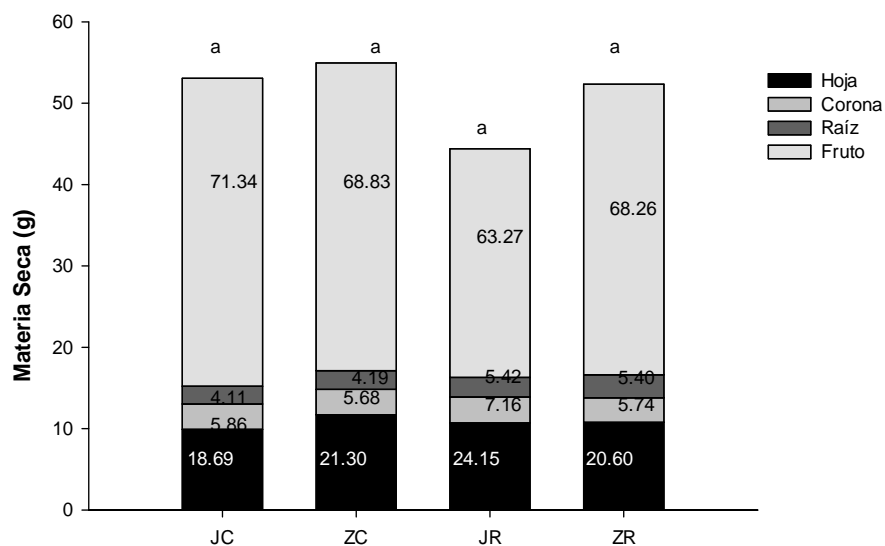


Figura 9. Distribución de materia seca acumulada en plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México. Cada valor representa la media de 6 observaciones respectivamente. (Columnas con letras iguales no son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05).

3.4. CONCLUSIONES

Los rendimientos más altos se presentan en marzo; sin embargo los receptáculos más grandes se concentran en enero y febrero, posteriormente el peso disminuye paulatinamente. Asimismo el aumento de la producción no es proporcional a un mayor tamaño en los receptáculos.

Las plantas registradas muestran la misma capacidad productiva, por lo que es factible su establecimiento con fines de producción comercial, con el ahorro consecuente de un ciclo de propagación.

Las plantas de fresa con categoría registrada no muestran comportamientos diferentes a las plantas de propagación convencional en las variables tasa fotosintética y contenido de azúcares solubles, el cual se acumula principalmente en hoja y en menor concentración en raíz.

El receptáculo es el órgano que acumula mayor peso seco seguido por la hoja, corona y raíz, lo cual se ve reflejado en la producción de biomasa fresca.

2.5. LITERATURA CITADA

- Acuña-Maldonado L. E. and M. P. Pritts (2008) Carbon and nitrogen reserves in perennial strawberry affect plant growth and yield. *Journal American Society Horticultural Science* 133(6):735-742.
- Anderson J. E. 1982. Factors controlling transpiration and photosynthesis. *J. Ecol* 63: 48-56.
- Boxus P. and P. Larvor (1987) In vitro culture of strawberry plants. *Biological sciences. ECSC-EEC-EAEC, Brussels Luxemburg.* 15-17 p.
- Cameron J. S., J. F. Hancock and J.A. Flore (1989) The influence of micropropagation on yield components, dry matter partitioning and gas exchange characteristics of strawberry. *Scientia Horticulturae* 38:61-67.
- Carlen C., A.M. Potel and A. Ancay (2009) Photosynthetic response of strawberry leaves to changing temperatures. *Acta Horticulturae* 838:73-76.
- Chandler C. K., K. Folta, A. Dale, V. M. Whitaker and M. Herrington (2012) Strawberry *In: Fruit breeding, Handbook of plant breeding*, M. L. Badenes, D. H. Byrne (eds), Capítulo 9.
- Damiano C. (1980) Strawberry micropropagation. *Proceedings of the conference on nursery production of fruit plants through tissue culture: Applications and feasibility* 93-101 p.
- Darnell R. L. (2003) Strawberry growth and development. *In: The Strawberry*. N.F. Childers (ed), Dr. Norman F. Childers Publications, Gainesville, Florida. pp: 6-7.
- Darrow G. M. (1936) Interacción of temperature and photoperiodism in the producción of fruit buds and runners in the strawberries. *Proceeding American for Horticultural Science* 34:360-363.
- Dávalos-Gonzalez P. A., R. Aguilar-García, A. E. Jofre y Garfias, A. R. Hernández-Razo y M. N. Vázquez-Sanchez (2011) Tecnología para sembrar viveros de fresa. *Libro técnico No.3. INIFAP* 153 p.

- Demirsoy L., H. Demirsoy, B. Ersoy, G. Balci and R. Kizilkaya (2010) Seasonal variation of N, P, K and Ca content of leaf, crown and root of 'Sweet Charlie' strawberry under different irradiation. *Zemdirbyste-Agriculture* 97(1).
- Diario Oficial. 2010. Aviso por el que se da a conocer información relativa a solicitudes de títulos de obtentor de variedades vegetales, correspondiente al mes de marzo de 2010. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Lunes 24 de mayo de 2010. Primera Sección.
- Fondo Sectorial de Investigación en materia Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenético. (2012) Anexo B. Demandas del Sector 2012-3. 'Generación y Validación de Variedades Mexicanas de Fresa'.
- García L.A. y J. L. Guardiola (2003) Transporte en el floema: *In: Fundamentos de Fisiología Vegetal*. J Azcon-Bieto, M Talon (eds.). McGRAW-HILL 3^{ra} reimpresión. Barcelona España. pp: 65-68.
- Hancock J. F., J. A. Flore and G. J. Galletta (1989) Gas exchange properties of strawberry species and their hybrids. *Scientia Horticulturae* 40:139-144.
- Hancock J.F and R.S. Bringhurst. 1988. Yield component interactions in wild populations of California *Fragaria*. *HortScience* 23: 889-890.
- Harbut R. M., J. A. Sullivan, and J. T. A. Proctor. 2010. Temperature affects dry matter production and net carbon exchange rate of lower-ploidy *Fragaria* species and species hybrids. *Canadian Journal Plant Science* 90: 885-892.
- Karhu S. and Hakala, K. 2002. Micropropagated strawberries on the field. *Acta Hort. (ISHS)* 567: 321-324.
- Keutgen N., K. Chen, and F. Lenz. 1997. Responses of strawberry leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence and macronutrient contents to elevated CO₂. *J Plant Physiol* 150: 395-400.
- Libek A. and A. Kikas. 2003. Influence of different planting material on production of strawberry runner plants. *Agronomy Research* 1: 69-74.

- Litwi czuk W. 2004. Field performace of -senga senganaø strawberry plants (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) Obtained by runners and in vitro through axillary and adventitious shoots. Horticulture Topic Vol (7).
- López-Aranda J. M., J. J. Medina, M. Barceló, J. López-Medina and F. Pliego Alfaro. 1997. Field behaviour of micropropagated strawberry plants. Acta Horticulture (ISHS) 439: 353-358.
- MacKenzie S.J., C. K. Chandler, T. Hasing and V. M. Whitaker. 2011. The role of temperature in the late-season decline in soluble solids content of strawberry fruit in a subtropical production system. Horticulturae Science 46(11): 1562-1566.
- McCready R. M., J. Guggolz, V. Silveira and H. S. Owens. 1950. Determination of starch and amylase in vegetables. Revista Chapingo Serie Horticultura 18(1):113-123, 2012 Application to peas, Annals Chemical.
- Mitcham E. J., C. H. Cristoso and A. A. Kader. 1998. Strawberry recommendations for maintaining postharvest quality. Strawberry Produce Facts. University of California. Postharvest Tecnology.
- Nishizawa T. 1994. Comparision of carbohydrate partitioning patterns between fruiting and deflorated June-bearing strawberry plants. Journal Japan Socity Horticulturae Science 62:795-800.
- Nishizawa T. 1998. Changes in sugar and starch concentrations of forced June-Bearing strawberry plants as influenced by fruiting. Journal of American Society for Horticultural Science 123(1):52-55.
- Pertuzé R., M. D.V. Barrueto and M. Gamardella. 2006. Evaluation of strawberry nursery management techniques to improve quality of plants. Acta Horticulturae (ISHS) 708: 245-248.
- Sun P., N. Mantri, H. Lou, Y. Hu, D. Sun, Y. Zhu, T. Dong and H. Lu. 2012. Effects of elevated CO₂ and temperature on yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) at two levels of nitrogen application. PLoS ONE 7(7).

- Szczygieł A. and B. Borkowska. 1997. Field evaluation of micropropagated strawberry plants as related to different rooting and nutritional methods. Proceedings of the third international strawberry symposium. Acta Horticulturae 439:347-351.
- Taji A., P. P. Kumar and P. Lakshmanan. 2002. In Vitro Plant Breeding, Food Products Press. New York, 167 p.
- Verheul M. J., A. Sonsteby and S. O. Grimstad. 2006. Interactions of photoperiod, temperature, duration of short-day treatment and plant age on flowering of *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Korona. Scientia Horticulturae 107:164-170.
- Verheul M. J., A. Sonsteby and S.O. Grimstad. 2006. Interactions of photoperiod, temperature, duration of short-day treatment and plant age on flowering of *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Korona. Scientia Horticulturae 107: 164-170.
- Wang S.Y. and M.J. Camp. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. Scientia Horticulturae 85: 183-199.
- Zebrowska J. I., J. Czernas, J. Gawronski and J. A. Hortynski (2003) Suitability of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) microplants to the field cultivation. Food Agriculture and Environment 34:190-193.

ANEXOS



a)



b)

c)

Figura 1: Producción de cultivares mexicanos de fresa en condiciones de invernadero. a) Producción de fruta, b) Capacidad productiva de plantas con categoría registrada y c) Capacidad productiva de plantas de propagación convencional.

CAPITULO IV. CALIDAD DE FRUTA DE PLANTAS DE FRESA CON CATEGORÍA REGISTRADA

RESUMEN

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar parámetros fisicoquímicos de los receptáculos de plantas con categoría registrada en comparación con receptáculos de plantas de propagación convencional, de cultivares CP-Jacona y CP-Zamorana durante los meses de mayor producción. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos; Jacona convencional (JC), Zamorana convencional (ZC), Jacona registrada (JR) y Zamorana registrada (ZR). Las variables estudiadas fueron dimensión: diámetro ecuatorial, diámetro lateral y longitud (DE, DL, y L), color, firmeza, sólidos solubles totales (SST), concentración de ácido cítrico, pH y la relación SST/AT. Los frutos (receptáculos) de los cuatro tratamientos presentaron mayores dimensiones durante el mes de febrero. El color no mostró diferencias significativas en enero y principios de febrero (126 y 157 ddt), en donde se obtuvieron receptáculos con el mismo color rojo característico de la fresa y de mayor brillantes. Por otro lado, el parámetro croma fue superior en receptáculos de plantas con categoría registrada a los 204y 213 ddt lo que indica mayor pigmentación. La firmeza fue variable durante todo el periodo de evaluación, pero fue igual entre tratamientos a excepción de la última evaluación ya que JR presentó el mayor valor de éste parámetro. El contenido de SST y de ácido cítrico fueron más altos durante enero y febrero (126 y 157 ddt) respectivamente. No se registraron diferencias en la relación SST/AT y pH de los receptáculos de los cuatro tratamientos.

Palabras clave: Plantas con categoría registrada, calidad de fruta, parámetros fisicoquímicos.

ABSTRACT

The present study was conducted to evaluate physicochemical parameters of the receptacles from registered category plants compared with conventional plants propagation in CP-Zamorana and CP-Jacona during the months with the greatest production. A completely randomized design with four treatments was used; Conventional Jacona (JC), conventional Zamorana (ZC), Jacona registered (JR) and Zamorana registered (ZR). The variables studied were equatorial diameter, lateral diameter and length (DE, DL, and L), color, firmness, total soluble solids (SST), citric acid concentration, pH and SST/TA ratio. The receptacles of the four treatments showed the largest dimensions during February. The color did not show significant differences in January and early February (126 and 157 ddt), where it is obtained receptacles with the same red color, characteristic in strawberry and more brightly. On the other hand, the chroma parameter was higher in receptacles from registered category plants to 204 and 213ddt which indicates a increased in the pigmentation. Firmness was different throughout the evaluation period, but it was equal among treatments except for the last evaluation due to JR had the highest value of this parameter. The content of SST and citric acid were higher during January and February (126 y157 ddt). No differences were found in TSS/TA ratio and pH in the receptacules from the four treatments

Key words: Plants with registered category, fruit quality, physicochemical parameters.

4.1. INTRODUCCIÓN

La fresa es una frutilla cuya producción tiene una fuerte orientación al mercado de exportación como producto para consumo fresco y congelado, actualmente E.U.A. Además constituye el mercado más atractivo, ya que requiere el 98% del volumen total anual de la fresa mexicana de exportación (Fondo Sectorial de Investigación, en materia Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Filogenéticos, 2012).

La aceptación del fruto está dada principalmente por las características organolépticas, los frutos grandes y uniformes no solo son atractivos para los consumidores, si no para dar lugar a un aumento de la eficiencia de la cosecha, se ha observado que el color en la carne es deseable para los consumidores mientras que la relación SST/AT está fuertemente asociado con la preferencia del sabor (Whitaker *et al.*, 2011). El sabor de la fresa es una compleja combinación de dulzura, acidez y aroma, la alta intensidad de sabor en el fruto generalmente tiene altos niveles de acidez titulable y sólidos solubles, mientras que los frutos con menor firmezas son más bajos en estos componentes (Kader, 1991).

La concentración de los azúcares en la fruta dependen de las tasas de captación por el tejido de la misma, de la fotosíntesis y de la respiración, dicha captación depende del suministro de hidratos de carbono, la expresión y la actividad de los transportadores y/o las enzimas que metabolizan el azúcar en las frutas (MacKenzie *et al.*, 2011).

Los niveles elevados de CO₂ aumentan los niveles de fructosa glucosa y azúcar total en relación con otros compuestos de sabor ya que los carbohidratos no estructurales incluyendo la fructosa (azúcar dominante) contribuyen directamente a la dulzura percibida de las fruta, y estos azucares representan más de 900g/Kg de los azucares totales en fresas maduras (Sun *et al.*, 2012)

Las características bioquímicas al igual que los atributos de color tienden a cambiar durante el proceso de maduración, sin embargo diversos estudios han reportado que el comportamiento es distinto entre estos parámetros; los SST presentan un aumento continuo durante el proceso de maduración, en contraste la AT presenta tendencias a disminuir. La característica de dulzor está dada en función de la relación SST/AT y ésta también aumenta conforme avanza el proceso maduración de la fruta (Ornelas-Paz *et al.*, 2013)

El uso de plantas registradas para la producción de fresa es limitado por los productores debido a las desventajas que se le atribuyen no solo en rendimiento si no en la calidad del fruto. El presente estudio pretende determinar las características principales de calidad en frutos de fresa de plantas registradas en comparación con plantas de propagación convencional durante los principales meses de producción.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1. Localización

La evaluación de las variables de calidad postcosecha se realizó en el Laboratorio de Fisiología y Tecnología Postcosecha perteneciente al Posgrado de Fruticultura del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, en Texcoco Estado de México.

4.2.2. Material vegetal

Se utilizaron receptáculos de cuatro cultivares (cada uno representó un tratamiento): Jacona convencional (JC), Zamorana convencional (ZC), Jacona registrada (JR) y Zamorana registrada (ZR).

El muestreo se realizó en 27 plantas por tratamiento en donde se consideró un receptáculo como repetición; sin embargo, estuvo en función de la disponibilidad en el momento de la cosecha.

4.2.3. Conducción del experimento

En este experimento se realizaron cuatro evaluaciones durante el 2014: El 8 de Enero (126 ddt), 8 Febrero (157 ddt), 27 de Febrero (204 ddt) y 8 de Abril (213 ddt). La cosecha se realizó entre las 7:00 am y 8:30 am, en madurez comercial ($\frac{3}{4}$ de la superficie del receptáculo con coloración roja). El material fue transportado en una hielera (contenedor térmico de unice) al laboratorio de Postcosecha de Fruticultura del Colegio de Postgraduados. Las variables de calidad evaluadas fueron; tamaño, color, firmeza, sólidos solubles totales (SST), concentración de ácido cítrico, pH y la relación SST/AT.

4.2.4. Parámetros físicos

4.2.4.1. Dimensión

La dimensión de las infrutescencias se determinó con un vernier tomando tres medidas: expresado como longitud (L), diámetro ecuatorial (DE) y diámetro lateral (DL).

4.2.4.2. Color

El color se midió en las dos caras laterales del receptáculo, se utilizó un colorímetro Hunter Lab (Reston, Virginia, USA; modelo D-25) con base a los parámetros L (Luminosidad), a* la coordenada que tiende al rojo (+) o hacia el verde (-), y b* la coordenada que tiende al amarillo (+) o al azul (-), a partir de éstos parámetros se calcularon el ángulo de tono ($\text{Hue} = \tan^{-1} b/a$) y el índice de saturación de color ($\text{Croma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$), de acuerdo con lo descrito por McGuire (1992)

4.2.4.3. Firmeza

Para determinar la firmeza se utilizó un texturómetro (Wagner, modelo FDV-30), con puntal cónico de 8 mm, se evaluaron los dos lados ecuatoriales, y se registró la fuerza aplicada para la penetración del fruto expresada en Newton (N).

4.2.5. Variables respuesta

4.2.5.1. Sólidos Solubles Totales (°Bx)

La concentración de sólidos solubles totales (SST) se determinó usando un refractómetro digital modelo ATAGO PR-100 con una escala de 0-32%, de acuerdo con el método de la AOAC (1990). Se colocó de dos a tres gotas del extracto de jugo de fresa directamente en el refractómetro. Los resultados se expresaron como °Bx.

4.2.5.2. Acidez titulable

Esta variable se determinó con base al método volumétrico de la AOAC (1990), las muestras se prepararon según las indicaciones, haciendo algunas modificaciones según la cantidad de muestra disponible. Para ello se pesaron 10 g de muestra, se adicionaron 50 mL de agua destilada y se licuó, se midió el volumen total, posteriormente se tomó una alícuota de 5 mL

de solución a la cual se adicionaron 2-3 gotas de felnoftaleína en solución alcohólica al 1% como indicador, la titulación se realizó con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N, con el pH de vire (8.2-8.3) como punto final de la titulación. El porcentaje de acidez se calculó en base al ácido cítrico de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Ácido Cítrico} = \frac{a * b * c * 100}{V * P} * 100 \text{ [\%]}$$

En donde:

a= Mililitros de NaOH gastados.

b= Normalidad de NaOH empleado.

c= Mili equivalentes de ácido cítrico= 0.064

V= Volumen total (ml de agua + g de pulpa).

P= Peso de muestra.

A= Alícuota.

4.2.5.3. Sólidos Solubles Totales (°Bx) / Acidez Titulable (AT)

Éste parámetro se determinó mediante el cálculo de la relación °Bx/AT y se expresó como intensidad de sabor.

4.2.5.4. pH

Esta variable se determinó siguiendo el método de la AOAC (1990), para esto se utilizó 10 g de muestra homogenizados en 50 mL de agua destilada, se dejó reposar por 5 minutos para su posterior lectura en un potenciómetro modelo 40 pH Meter marca BECKMAN.

4.2.6. Análisis de datos

Para el análisis de los resultados se utilizó un análisis de varianza con el procedimiento GLM utilizando el paquete estadístico (SAS versión 9.0) y prueba de comparación de medias Tukey (=0.05%) para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSION

4.3.1. Dimensiones de los receptáculos

Los receptáculos de plantas registradas en comparación con los de plantas convencionales fueron estadísticamente entre tratamientos; sin embargo, los de mayor tamaño se obtuvieron en el mes de febrero y disminuyeron su tamaño en los meses posteriores.

En el Cuadro 1 se observa que no hubo diferencias significativas en el DE de los receptáculos durante las cuatro fechas de evaluación; sin embargo, numéricamente los mayores valores de este parámetro con excepción de ZR se registraron el 8 de febrero (157 ddt), en donde JR presentó infrutescencias de mayor DE con 38 mm. El diámetro lateral DL fue estadísticamente igual entre tratamientos en cada una de las cuatro evaluaciones; en donde los valores más altos de este parámetro se registraron a los 157 ddt, al igual que en el parámetro anterior JR presentó el mayor tamaño de DL con 30.05 mm. La longitud fue estadísticamente diferente ($p < 0.0821$) a los 126 ddt, en donde JC fue superior con 40.6 mm. En las siguientes evaluaciones los cuatro tratamientos fueron estadísticamente iguales; sin embargo, los receptáculos de mayor longitud se registraron a los 157 y 204 ddt.

Este comportamiento puede estar relacionado con las temperaturas ya que se observa que con el transcurso del tiempo las temperaturas se incrementaron. Al respecto Palencia *et al* (2013) mencionaron que altas temperaturas puede reducir el tamaño del receptáculo de fresa. Nuestros resultados muestran la capacidad de las plantas con categoría registrada para producir receptáculos con tamaño similar a los obtenidos de plantas convencionales.

Cuadro 1. Dimensiones (mm) de los receptáculos de fresa de plantas de fresa con categoría registrada comparadas contra receptáculos de plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.

	DE	DL	L
<i>126 ddt</i>			
JC	29.98 ± 1.91 a	25.94 ± 1.71 a	40.59 ± 1.97 a
ZC	27.10 ± 1.10 a	25.10 ± 0.99 a	34.71 ± 1.14 ab
JR	25.89 ± 2.22 a	22.74 ± 1.20 a	33.82 ± 2.30 b
ZR	25.22 ± 1.91 a	22.88 ± 1.71 a	36.34 ± 1.97 ab
<i>157 ddt</i>			
JC	35.20 ± 0.27 a	28.50 ± 0.20 a	40.7 ± 0.35 a
ZC	35.0 ± 0.28 a	29.10 ± 0.22 a	44.4 ± 0.37 a
JR	38.10 ± 0.21 a	30.05 ± 0.16 a	43.1 ± 0.28 a
ZR	31.60 ± 0.30 a	27.10 ± 0.23 a	41.4 ± 0.40 a
<i>204 ddt</i>			
JC	34.25 ± 1.19 a	27.60 ± 0.91 a	42.44 ± 1.42 a
ZC	31.95 ± 1.19 a	27.34 ± 1.07 a	40.41 ± 1.70 a
JR	32.79 ± 1.62 a	27.26 ± 1.23 a	41.27 ± 1.94 a
ZR	32.74 ± 1.62 a	26.80 ± 1.11 a	42.49 ± 1.74 a
<i>213 ddt</i>			
JC	25.21±0.73 a	22.49±0.49 a	33.16 ± 0.99 a
ZC	25.15±0.92 a	21.84±0.62 a	32.89 ± 1.30 a
JR	24.51±0.95 a	20.81±0.64 a	30.46 ± 1.30 a
ZR	24.03±0.94 a	21.30±0.63 a	31.71 ± 1.29 a

(Cada valor representa la media de 27 observaciones más el error estándar). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05).

4.3.2. Color

El color es uno de los atributos más importantes de calidad en los productos hortofrutícolas y en especial en fresa, este parámetro de color es expresado en función de las variables L, Hue y Croma (McGuire, 1992).

El parámetro L está asociado con la luz o brillo reflejado por la muestra, el cual es un referente de frescura o ausencia de pérdida de agua en el fruto (Crecente-Campo *et al.*, 2012; Mitcham, 1998). El Cuadro 2 muestra los resultados de la evaluación de los parámetros de color en los receptáculos durante el periodo de producción en cuatro fechas de evaluación, en donde se encontró que únicamente hubo diferencias significativas ($p < 0.0022$, $p < 0.0288$) a los 204 y 213 ddt.

A los 126 Ddt los receptáculos fueron menos oscuros y con mayor brillantes, y aun cuando no se encontraron diferencias significativas, JR produjo receptáculos de mayor brillantes (36.09) en comparación con ZR (31.825a), JC y ZC tuvieron niveles de brillantes similares entre ellos. A los 157 ddt los receptáculos disminuyeron los niveles de este parámetro, mientras que a los 204 ddt los valores aumentaron y se observó que los receptáculos de JR fueron significativamente ($p < 0.002$) más brillantes (33.99) en comparación con JC (29.89). En la última fecha de evaluación correspondiente al mes de abril, JC fue significativamente mayor ($p < 0.0288$) en los niveles de luminosidad (31.53) en comparación con ZC que presentó los niveles de brillantes más bajos (28.59). En general los valores de luminosidad presentaron variaciones con respecto al tiempo, estos resultados indican que los receptáculos de plantas con categoría registrada presentaron niveles de brillantes iguales a los producidos por las plantas de propagación convencional y aun cuando se encontraron diferencias significativas en las últimas dos fechas se encuentran dentro de los rangos reportados por Crecente-Campo *et al* (2012) en donde reportan valores de L de 27.3-32.6, y por Ayala-Zaval *et al* (2004) con valores de L de 33.9. Ornelas-Paz *et al* (2013) reportan valores de Luminosidad entre 31.8-42.7 en diferentes cultivares. Wang y Camp (2000) mencionaron que el grado de brillantes está en función de diversos factores como lo es el grado de madurez y el cultivar así como la constante manipulación que se da desde la cosecha hasta que llega al consumidor.

Cuadro 2. Parámetro de Luminosidad (*L*) en receptáculos de fresa de plantas con categoría registrada comparadas contra receptáculos de plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo., de México.

	Luminosidad (<i>L</i>)			
	126 ddt	157 ddt	204 ddt	213 ddt
JC	33.24±1.55 a	32.48±1.27 a	29.89±0.62 b	31.54±0.75 a
ZC	34.42±0.89 a	31.96±1.04 a	32.07±0.69 ab	28.59± 0.73 b
JR	36.09±1.67 a	31.95±0.89 a	33.10±0.83 a	29.73±0.66 ab
ZR	31.82±1.76 a	30.83±1.27 a	31.15±0.74 b	29.49±0.78 ab

(Cada valor representa la media de 27 observaciones más el error estándar). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05).

Con respecto a los valores color (Hue) en los receptáculos, el Cuadro 3 muestra que este parámetro incrementó de enero a febrero alcanzando sus valores más altos a finales de este mes y disminuye drásticamente en abril, periodo final de evaluación. Es apreciable que los receptáculos de las plantas con categoría registrada y de propagación convencional presentaron valores estadísticamente iguales entre ellos durante las primeras tres evaluaciones, ya que registraron la misma coloración roja característica de la fresa, los valores obtenidos durante las primeras tres evaluaciones coinciden con los reportados por Crecente-Campo *et al* (2012) en donde los rangos de Hue fueron de 30.8-36.7, mientras que Ayala-Zavala *et al* (2004) reportaron valores de 28.5. Únicamente se registraron diferencias altamente significativas ($p < .0001$) a los 213 ddt, en donde los receptáculos de JC fueron menos rojos con un promedio de 23.59 en comparación con ZC, JR y ZR que tuvieron valores de 12-13.

Cuadro 3. Parámetro de color (*Hue*) en receptáculos de fresa de plantas con categoría registrada comparadas contra receptáculos de plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.

	Hue (<i>H</i>)			
	126 ddt	157 ddt	204 ddt	213 ddt
JC	31.67±1.86 a	38.95±2.99 a	37.61±0.66 a	23.59±1.12 a
ZC	32.49±1.08 a	35.37±2.45 a	39.84±0.73 a	13.46±1.09 b
JR	33.57±2.01 a	33.83±2.09 a	39.70±0.89 a	12.24±0.99 b
JR	28.78±2.01 a	39.09±2.98 a	37.98±0.79 a	13.24±1.16 b

(Cada valor representa la media de 27 observaciones más el error estándar). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05).

Los valores del parámetro Croma (Cuadro 4) fueron estadísticamente iguales entre tratamientos a los 126 y 154 ddt, lo que muestra la misma intensidad de pigmentación y brillantes característicos entre tratamientos. Por otro lado los receptáculos presentaron diferencias altamente significativas ($p < .0001$, $p < 0.002$) a los 204 y 213 ddt respectivamente, en donde los receptáculos de plantas con categoría registrada tuvieron mayor intensidad de pigmentación que los de las plantas convencionales. Estos valores coinciden con los reportados por Crecente-Campo *et al* (2012) y Ornelas-Paz *et al* (2013) los cuales van de 26-36 y 35.1-45.6 respectivamente. Un bajo valor de cromina es asociado con un color mate y de baja pureza, en este caso los valores fueron iguales durante el periodo más productivo y aun cuando en las siguientes dos evaluaciones hubo variabilidad entre tratamientos, ésta no representa una desventaja puesto que el periodo fuerte de producción va de noviembre a febrero.

Cuadro 4. Parámetros de color Croma (*c*) en receptáculos de fresa de plantas con categoría registrada comparadas contra receptáculos de plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.

	Croma (<i>c</i>)			
	126 ddt	157 ddt	204 ddt	213 ddt
JC	27.20±1.45 a	25.51±1.21 a	24.89±0.64 b	32.23±1.04 b
ZC	26.82±0.84 a	26.36±0.99 a	26.79±0.71 b	34.30±1.01 ab
JR	28.53±1.57 a	26.93±0.85 a	34.24±0.86 a	37.19±0.92 a
JR	27.56±1.57 a	23.86±1.21 a	35.21±0.77 a	36.97±1.081 ^a

(Cada valor representa la media de 27 observaciones más el error estándar). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05).

4.3.3. Firmeza

La firmeza es un parámetro importante que determina las propiedades mecánicas de la fresa, al igual que otros atributos de calidad, está determinada por el grado de maduración y el cultivar, asimismo este parámetro confiere ventajas para la comercialización ya que muestra mayor resistencia mecánica durante el empaque y almacenamiento. De acuerdo a los resultados obtenidos (Cuadro 5) la firmeza no mostró diferencias significativas a los 126, 157 y 240 ddt, los valores de este parámetro fueron variables con respecto al periodo de evaluación. Únicamente se encontraron diferencias ($p < 0.0031$) entre tratamientos a los 213 ddt, en donde los receptáculos de JR fueron más firmes en comparación con los demás tratamientos. Estos resultados indican que la firmeza de los receptáculos de plantas con categoría registrada no fue significativamente diferente a los de las plantas convenciones, lo que sugiere presentan la misma capacidad de resistencia al daño mecánico y respuesta para protección durante el desarrollo de los receptáculos.

Cuadro 5. Firmeza en receptáculos de fresa de plantas con categoría registrada comparadas contra receptáculos de plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.

	Firmeza (Newton)			
	126 ddt	157 ddt	204 ddt	213 ddt
JC	1.58±0.27 a	2.02±0.27 a	1.36±0.31 a	1.21±0.10 b
ZC	1.78±0.15 a	1.56±0.22 a	1.82±0.37 a	1.07±0.10 b
JR	2.08±0.31 a	1.66±0.19 a	1.28±0.44 a	1.66±0.10 a
ZR	1.64±0.27 a	2.24±0.27 a	1.32±0.39 a	1.19±0.10 b

(Cada valor representa la media de 27 observaciones más el error estándar). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05).

4.3.4. Sólidos Solubles Totales (°Bx)

La dulzura percibida en la fruta está influenciada directamente con los carbohidratos no estructurales incluyendo la fructosa (azúcar dominante), glucosa y sacarosa, estos representan más de 990g kg⁻¹ de los azúcares totales en fresas maduras (Sun *et al.*, 2012). Al igual que el color y firmeza dependen del grado de madurez del fruto. Hancock (1999) y Hamano *et al* (2002) mencionaron que el cultivar y el manejo agronómico podría influenciar los cambios en la concentración de los °Bx durante el muestreo de receptáculos de diferente variedades. Los °Bx no definen el grado de dulzor pero constituyen la cantidad de sólidos solubles totales presentes en la fruta. En el Cuadro 6 se presentan los valores de este parámetro, los cuales únicamente registraron diferencias significativas (P<0.0148) a los 157 ddt durante todo el periodo de evaluación. A los 126 ddt no hubo diferencias estadísticas; sin embargo, numéricamente los receptáculos de JR y JC presentaron el mayor contenido de °Bx en comparación con ZI y ZC. A los 157 Ddt, a excepción de ZR hay una disminución en los °Bx y se observa que la concentración fue mayor en ZR y menor en JR. Esta disminución de los SST fue observada por Rodriguez-Bautista *et al* (2010) donde los cultivares mexicanos mostraron significativamente menor contenido de SST en comparación con la variedad Festival.

Durante el resto de la evaluación la concentración de °Bx fue igual en los receptáculos de los cuatro tratamientos. Nuestros resultados se encuentran por encima del rango reportado por Roussos *et al* (2012) para el jugo de fruto de fresa con 6.5 de °Bx. Es notorio que la concentración promedio de °Bx fue más alta en enero para JC, ZC y JR y disminuyó gradualmente en las siguientes dos fechas de evaluación lo cual coincide precisamente con el mes de febrero en donde las infrutescencias alcanzan su mayor peso, mientras que las siguientes evaluaciones el contenido de °Bx se mantuvo prácticamente constante, este comportamiento quizá tenga relación con las variaciones de temperatura. Al respecto Whitaker *et al* (2011) encontraron que en selecciones avanzadas de fresa los SST fueron más altos en el mes de febrero y los más bajos en marzo, a lo que ellos atribuyen puede ser resultado de las crecientes temperaturas de marzo. MacKenzie *et al* (2011) mencionaron que la temperatura puede causar una disminución de los SST en la fruta al alterar el equilibrio fisiológico de los procesos en los tejidos vegetales.

4.3.5. Contenido de Ácido Cítrico (AT)

Con respecto a la concentración de ácido cítrico presentando en el Cuadro 6, nuestros resultados indican que de las cuatro fechas de evaluación únicamente se encontraron diferencias a los 157 ddt. En la primera evaluación (126 ddt) la concentración de ácido cítrico fue estadísticamente igual entre tratamientos, pero numéricamente JR presentó los receptáculos con mayor ácido cítrico registrando 1.6 %. A los 157 Ddt hubo un aumento en el contenido de ácido cítrico, en donde ZC presentó los valores más altos con 1.5% en comparación con JC 1.3%, los receptáculos de plantas registradas tuvieron concentraciones intermedias similares entre ellas. Posteriormente este parámetro disminuyó al final del periodo de producción de fruta. La concentración del ácido cítrico es también un factor de percepción de sabor, en este sentido la disminución de su concentración podría estar relacionada con la disminución del fin de temporada.

4.3.6. Sólidos Solubles Totales (°Bx) / Acidez Titulable (AT)

En el Cuadro 6 se observa que la relación (SST/AT) fue estadísticamente igual entre receptáculos de los cuatro tratamientos durante las cuatro fechas de evaluación. La relación SST/AT fue mayor a los 126 ddt a excepción de ZC, en comparación con las siguientes tres evaluaciones, en esta evaluación, numéricamente JR presentó las infrutescencias con mayor intensidad de sabor. Nuestros resultados indican que las plantas de fresa con categoría registrada produjeron receptáculos con la misma intensidad de sabor que los de plantas convencionales, sin embargo estos valores varían de acuerdo a la fecha de evaluación siendo mayores en el mes de enero, el cual se encuentra dentro de la ventana de exportación. La disminución de éste parámetro durante febrero podría explicarse ya en este mes los receptáculos de los cuatro tratamientos alcanzaron mayores dimensiones y peso. Los valores de intensidad de sabor obtenidos se encuentran dentro del intervalo de SST/AT reportados Kafka *et al* (2007) y Montero *et al* (1996) con valores de entre 8.5-17 en fresas maduras.

4.3.7. pH

En el Cuadro 6 se observa que el pH no mostró diferencias significativas entre tratamientos en cada una de las evaluaciones, sin embargo los mayores valores de este parámetro se registró a los 126 y 157 ddt. En los siguientes 204y 213 ddt el pH disminuyó sin registrar diferencias significativas. Este parámetro juega un rol importante en la calidad sensorial de las fresas ya que afectan la percepción de dulzor como un aumento de pH (Gunness *et al.*, 2009). Por su parte Onernalas-Paz *et al* (2013) encontraron que el pH aumentó durante la maduración y dichos cambios se correlacionaron con los valores de AT.

Cuadro 6. Sólidos solubles totales (SST), concentración de ácido cítrico (AT), intensidad de sabor (SST/AT) y pH en receptáculos de fresa de plantas con categoría registrada comparadas contra receptáculos de plantas de propagación convencional, cultivadas en invernadero en Montecillo Texcoco Edo. de México.

	SST (°Bx)	AT (% ácido cítrico)	SST/AT	pH
<i>126 Ddt</i>				
JC	10.8±1.10 a	1.2±0.18 a	9.0±0.97 a	4.3±0.06 a
ZC	9.9 ±0.57 a	1.3±0.10 a	7.6±0.51 a	4.2±0.03 a
JR	11.2±1.31 a	1.6±0.21 a	10.2±1.05a	4.1±0.08 a
ZR	9.6 ±1.10 a	1.1±0.17 a	8.7±0.97 a	4.1±0.05 a
<i>157 Ddt</i>				
JC	8.9±0.68 ab	1.3±0.07 a	7.0±0.63 a	4.3±0.05 a
ZC	9.5±0.51 ab	1.5±0.05 a	6.3±0.47 a	4.3±0.04 a
JR	7.6±0.47 b	1.4±0.05 a	5.5±0.43 a	4.3±0.03 a
ZR	9.9±0.74 a	1.4±0.07a	7.3±0.68 a	4.3±0.05 a
<i>204 Ddt</i>				
JC	8.9±0.39 a	1.2±0.03 a	7.2±0.32 a	4.0±0.02 a
ZC	9.6±0.36 a	1.3±0.03 a	7.3±0.30 a	4.0±0.02 a
JR	8.9±0.49 a	1.2±0.04 a	6.9±0.40 a	4.0±0.03 a
ZR	9.0±0.47 a	1.3±0.04 a	6.8±0.39 a	4.0±0.03 a
<i>213 Ddt</i>				
JC	9.0±0.42 a	1.0±0.05 a	8.5±0.51 a	4.1±0.03 a
ZC	9.9±0.47 a	1.0±0.06 a	9.4±0.58 a	4.1±0.04 a
JR	9.0±0.42 a	1.0±0.05 a	8.6±0.51 a	4.1±0.03 a
ZR	9.6±0.42 a	1.2±0.05 a	8.2±0.51 a	4.0±0.03 a

(Cada valor representa la media de 27 observaciones más el error estándar). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey, 0.05).

4.4. CONCLUSIONES

Los receptáculos demuestran ser más grandes a los 126 y 157 ddt, que corresponden a febrero y principios de febrero y disminuyen su tamaño conforme avanza el periodo de producción, dichos valores son estadísticamente iguales en receptáculos de plantas con categoría registrada y de propagación convencional.

Los parámetros de color L y Hue fueron similares a los 126 y 157 ddt, en estas fechas se observa un color rojo característico y mayor brillantez en la fresa, mientras que el parámetro croma fue superior en receptáculos producidos por plantas con categoría registrada a los 204 y 213 ddt, lo que indica que demuestra mayor pigmentación.

La firmeza muestra variabilidad durante todo el periodo de evaluación; sin embargo, no es diferente entre tratamientos, con excepción de la última evaluación ya que JR presentó el mayor valor.

No existe una tendencia clara en el contenido de sólidos solubles totales; sin embargo, este parámetro es diferente únicamente en enero (157 ddt) en donde los receptáculos de ZR presentan el mayor valor de °Bx

El mayor contenido de ácido cítrico y pH se concentra en febrero (157 ddt) y disminuye en las siguientes evaluaciones, por otro lado, la relación SST/AT presenta un comportamiento inverso ya que en esa fecha los valores de este parámetro es el más bajo tanto en receptáculos de plantas con categoría registrada como de propagación convencional.

4.5 LITERATURA

- Anónimo. 1980. Official Methods of Analysis. Association of official analytical chemists (AOAC). 13a Ed. St. Paul Minnesota, USA.
- Ayala-Zavala J.F., S.Y. Wang, C.Y. Wang and G.A. González-Aguilar. 2004. Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 37: 687-695.
- Crecente-Campo J., M. Nunes-Damaceno, M.A. Romero-Rodríguez and M.L. Vázquez-Odériz. 2012. Color, anthocyanin pigment, ascorbic acid and total phenolic compound determination in organic versus conventional strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch, cv Selva). *Journal of Food Composition and Analysis* 28: 23-30.
- Fondo Sectorial de Investigación en materia Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenético. 2012. Anexo B. Demandas del Sector 2012-3. *Generación y Validación de Variedades Mexicanas de Fresa*.
- Gunness P., O. Kravchuk, S. M. Nottingham, B. R. D'Arcy and M. J. Gidley. 2009. Sensory analysis of individual strawberry fruit and comparison with instrumental analysis. *Postharvest Biology and Technology* 52: 164-17.
- Hamano M.Y.Y. and H. Miura. 2002. Change in sugar contents and compositions of strawberry fruit during harvest periods. *Acta Horticulture* 567: 369-372.
- Hancock J.F. 1999. *Strawberries*. CABI Publishing. Michigan, USA. 237 p.
- Kader A.A. (1991). Quality and its maintenance in relation to the postharvest physiology of strawberry. In Hancock J.F. 1999. *Strawberries*. CABI Publishing. Michigan, USA. 237 p.
- Kafka E., M. Kosar, S. Paydas, S. Kafkas, and K.H.C. Baser. 2007. Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages. *Food Chemistry* 100: 1229-1236.

- MacKenzie S. J., C. K. Chandler, T. Hasing and V. M. Whitaker. 2011. The role of temperature in the late-season decline in soluble solids content of strawberry fruit in a subtropical production system. *HortScience* 46(11):1562-1566.
- MacKenzie S. J., C. K. Chandler, T. Hasing and V. M. Whitaker. 2011. The role of temperature in the late-season decline in soluble solids content of strawberry fruit in a subtropical production system. *HortScience* 46(11):1562-1566.
- McGuire R.G.1992. Reporting of objecting color measurements. *HortScience* 27(12): 1254-1255.
- McGuire R.G.1992. Reporting of objecting color measurements. *HortScience* 27(12): 1254-1255.
- Mitcham E.J., C.H. Cristoso and A.A. Kader. 1998. Strawberry recommendations for maintaining postharvest quality. Strawberry Produce Facts. www.postharvest.ucdavis.edu. Consultado en Diciembre de 2014.
- Montero T. M., E. M. Mollá, R.M. Esteban, and F. J. López-Andréu. 1996. Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Horticulturae* 65: 239-250.
- Ornelas-Paz J. J., E. M. Yahia, N. Ramírez-Bustamante, J. D. Pérez-Martínez, M. P Escalante-Minakata, V. Ibarra-Junquera, C. Acosta-Muñiz, V. Guerrero-Prieto and E. Ochoa-Reyes. 2013. Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. Albion) at six stages of ripening. *Food Chemistry* 138: 372-381.
- Palencia P., F. Martínez, J.J. Medina and J.L.Medina. 2013. Strawberry yield efficiency and its correlation with temperature and solar radiation. *Horticultura Brasileira* 31: 93-99.
- Rodríguez-Bautista G., G. Caldero-Zavala, D. Jaen-Contreras y A. Curiel-Rodríguez. 2012. Capacidad de propagación y calidad de planta de variedades mexicanas y extranjeras de fresa. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(1): 113-123.

- Roussos P.A., A. Triantafillidis and E. Kepolas. 2012. Strawberry Fruit Production and Quality under Conventional, Integrated and Organic Management. *Acta Horticulturae* 926, ISHS.
- Sun P., N. Mantri, H. Lou, Y. Hu, D. Sun, Y. Zhu, T. Dong and H. Lu. 2012. Effects of elevated CO₂ and temperature on yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) at two levels of nitrogen application. *PLoS ONE* 7(7).
- Wang S.Y. and M.J. Camp. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae* 85: 183-199.
- Whitaker M. V. T. Hasing and C.K.Chandler. 2011. Historical trends in strawberry fruit quality revealed by a trial of University of Florida cultivars and advanced selections. *HortScience* 46: 553-557.

ANEXOS



Figura 4: Rendimiento por planta y peso de fruta durante el periodo de producción enero-mayo en condiciones de invernadero, en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

CAPITULO V. DISCUSIÓN GENERAL

En el establecimiento de una plantación comercial de fresa generalmente se recurre a la importación de plantas certificadas provenientes principalmente de E.U.A. lo que origina mayores costos de producción para quienes se dedican a esta actividad productiva. Esta problemática ocasiona la necesidad de generar variedades con mayor adaptación en las zonas de interés. En este sentido, el cultivo de tejidos es una herramienta importante para la propagación masiva de plantas en menor tiempo. Sin embargo hay quienes mencionan que esta técnica solo potencializa el funcionamiento de las plantas madres durante dos generaciones vegetativas antes de la entrega a los productores (Zebrowska *et al.*, 2003). Así, las plantas provenientes del cultivo de tejidos se ven delimitadas únicamente para su establecimiento en vivero y no en plantaciones comerciales.

Por lo anterior, este estudio tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad de propagación y producción de cultivares mexicanos de fresa con categoría fundación y categoría registrada, además de la evaluación de parámetros de calidad de fruta. Como resultado se encontró que las plantas provenientes de cultivo de tejidos con categoría fundación presentaron alta capacidad para producir estolones y plantas hijas, asimismo las plantas con categoría registrada demostraron ser competitivas en producción y calidad de fruta. En ambos casos el comportamiento fisiológico no fue diferente entre los cultivares Jacona y Zamorana, en el caso de las plantas con categoría registrada tampoco hubo diferencias en comparación con las plantas de propagación convencional, dicho comportamiento está relacionado con el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Durante el periodo de multiplicación de plantas con categoría fundación, los cultivares Jacona y Zamorana mostraron tasas de asimilación de CO₂, transpiración y conductancia estomática que tienden a disminuir durante el periodo de evaluación. Este comportamiento pudo deberse a que la evaluación se realizó en la misma hoja durante el periodo de evaluación, al respecto Keutgen *et al* (1997) encontraron que la tasa fotosintética, transpiración y conductancia estomática se vieron significativamente afectadas por la edad de la hoja, ya que los valores son más altos en hojas maduras en comparación con hojas jóvenes y viejas.

La determinación de estos parámetros es importante ya que con ellos se ayuda a comprender los mecanismos de crecimiento y desarrollo de las plantas de fresa, en este caso durante la etapa de crecimiento vegetativo, periodo de producción de estolones y plantas hijas. Por otra parte el estudio de la fotosíntesis en la fase de propagación es importante porque a través de este proceso se obtienen los fotoasimilados necesarios en las plantas. En ellas el principal sitio de fijación de la fotosíntesis son las hojas, lo cual se ve reflejado en gran medida en el contenido de azúcares totales. En este estudio ambos cultivares concentraron el mayor contenido en hoja, seguido del tallo y raíz. Durante el proceso de propagación, un mayor contenido de carbohidratos en hoja y tallo influye en gran medida sobre el crecimiento vegetativo de las plantas hijas, por lo que el apego y formación de estolones y plantas hijas disminuyen la concentración de carbohidratos en las raíces lo que puede correlacionarse con los cambios en el crecimiento vegetativo (Kirschbaum *et al.*, 2000).

Del mismo modo la distribución de materia seca, es en gran parte el resultado de la translocación de fotoasimilados que empieza en hoja y continúa a través de los órganos de demanda. La distribución de materia seca puede variar durante el desarrollo del cultivo (Peil y Galvez, 2005). Al igual que el contenido de azúcares totales, el mayor peso seco se acumuló en las hojas; sin embargo en el cultivar Jacona el segundo órgano con mayor materia seca fue la raíz seguido del tallo, contrariamente Zamorana registró menor peso seco en raíz. Posiblemente una mayor materia seca en hoja y tallo de cultivar Zamorana tuvo inferencia sobre la mayor producción de estolones ya que éste cultivar tuvo 11.14 estolones por planta madre, en comparación con Jacona la cual tuvo 7.57. A pesar de esto, el número de plantas hijas no fue diferente entre cultivares obteniéndose en promedio 36, lo que muestra que tienen la misma capacidad de multiplicación, y lo más importante que las plantas de fresa con categoría fundación presentan alta capacidad de multiplicación.

Se ha mencionado que las plantas de fresa micropropagadas presentan alta capacidad de multiplicación, nuestros resultados demuestran que las plantas con categoría fundación son igualmente competitivas, sobre todo si se compara con las plantas provenientes de propagación convencional. En este sentido Rodríguez *et al* (2010) encontraron que en Zamorana el número de estolones fue de 6.4-9.6 y el número de plantas hijas fue entre 13.6-

43.8, por su parte Jacona tuvo entre 4.4-9.2 estolones por planta y de 7.8-54 plantas hijas por planta madre.

A pesar de la alta capacidad de propagación atribuida a las plantas provenientes del cultivo de tejidos, se ha mencionado que este tipo de planta no presenta buena capacidad de producción de fruta, por lo que su uso se ha delimitado a la multiplicación en vivero, pero no en el establecimiento de una plantación comercial. Por ello en las regiones productoras, el cultivo de fresa se basa principalmente en el establecimiento de plantas certificadas (plantas con cuatro ciclos de propagación en vivero). En este estudio las plantas con categoría registrada (de tres ciclos) fueron competitivas en cuanto a la producción de fruta en comparación con las plantas propagadas por varios ciclos de forma convencional. Una alta productividad en el cultivo de fresa requiere de altas tasas de asimilación de CO₂ como de una partición de carbohidratos y materia seca óptimos entre los órganos de demanda reproductivos y vegetativos, ya que estos compiten por una disponibilidad de fotoasimilados (García y Guardiola, 2003; Darnell, 2003).

En este estudio se obtuvo que el máximo rendimiento mensual se registró en el mes de marzo en donde JC fue superior con 111.8 g/planta, contrario de ZR que únicamente produjo 66.71g/planta, este rendimiento posiblemente es el resultado en el retraso en la cosecha ya que en las regiones productoras la plantación se inicia entre los meses de julio y agosto, mientras que este experimento se inició en septiembre. En marzo también se obtuvo el mayor número de receptáculos por plantas teniendo un promedio de 7. Sin embargo aún cuando se obtuvo el mayor número de receptáculos esto no significó la mayor productividad puesto que es importante considerar el peso del receptáculo. Con respecto a esto Verheul *et al* (2006) y Hancock y Bringhurst (1988) reportaron un aumento en el número de flores y un gran número de frutos, que no necesariamente aumentan la productividad y tampoco conducirán a un mayor rendimiento comercial.

En este estudio se obtuvo que el mayor peso por receptáculo se concentró en los meses de enero y febrero en donde se alcanzaron hasta 14 y 15 g por receptáculo, en los cuales tanto plantas con categoría fundación como de propagación convencional mostraron la misma tendencia en la cual el máximo peso se presentó a inicios y mitad del periodo de producción y disminuyó al final de este. Esto coincide con lo reportado por MacKecnie *et al* (2011)

quienes mencionaron que al inicio del periodo de producción predominan receptáculos más grandes y reducen su tamaño al final del periodo. Dicho aumento en el peso se encontró dentro del periodo de producción de fruta en las principales zonas productoras, el cual es destinado para el mercado de exportación. De esta manera se obtuvo que la producción de fruta no fue diferente en plantas con categoría registrada como de propagación convencional, durante el periodo de mayor producción que en este caso es durante enero a febrero.

Como se mencionó anteriormente para lograr alta productividad es necesaria una adecuada asimilación y translocación de fotoasimilados en los órganos de demanda. Dicho lo anterior, la tasa fotosintética fue más alta en diciembre mes en donde iniciaba la producción de fruta y tuvo una disminución a finales de enero cuando se registraron los mayores pesos en los receptáculos. En este sentido Carlen *et al* (2009) mencionaron que dichos cambios podrían estar relacionados con la relación fuente demanda. De manera que la tasa fotosintética, transpiración y conductancia estomática probablemente no se vieron afectados por el método de propagación, si no por la etapa fenológica de la planta.

En relación con lo anterior, al final del periodo de producción la hoja fue el órgano con mayor contenido de azúcares totales, lo que posiblemente se deba a que es el sitio principal donde se sintetizan los carbohidratos. En segundo lugar se encontró el tallo y por último la raíz. Nishizawa (1998) encontró que la disminución de los niveles de azúcares en las raíces durante el desarrollo y maduración de los receptáculos, pueden ser causados por la translocación de los carbohidratos previamente acumulados en la raíz.

Cabe señalar que en este estudio la partición de materia seca se vio fuertemente influenciada por la fructificación, de tal manera que la mayor acumulación de materia perteneció al receptáculo con valores de hasta 63 y 71 %, seguido de la hoja, tallo y raíz respectivamente. Estos resultados se encuentran por encima de los reportados por Nishizawa (1998) quien reportó que más del 50 % de fotoasimilados y carbono exportado de las hojas se concentró en los receptáculos.

Considerando que en este estudio se logró un adecuado desarrollo, producción y distribución de materia seca en los dos tipos de plantas, no importando el cultivar. Fue importante el

conocimiento del comportamiento de los parámetros de calidad de fruta, sobre todo porque su orientación es principalmente al mercado de exportación. La evaluación de los parámetros de calidad en la fruta, indicó que los receptáculos tanto de plantas con categoría registrada como de propagación convencional presentaron mayores dimensiones en febrero y disminuyó con respecto al tiempo. Asimismo no se observaron diferencias en las características de color puesto que durante el periodo de mayor producción (enero y febrero), todos los receptáculos de fresa presentaron una coloración roja y brillante característica en la superficie de la fresa, así como el mayor contenido de ácido cítrico. Otro rasgo importante a considerar es la firmeza la cual únicamente mostró diferencias significativas al final del periodo de producción, al igual que el contenido de sólidos solubles totales. Por su parte aunque el contenido de sólidos solubles totales no tuvo una tendencia clara, únicamente hubo diferencias entre tratamientos en febrero en donde ZR tuvo los mayores valores de este parámetro. Esto puede explicarse ya que en fresa las características fisicoquímicas generalmente tienden a cambiar durante el proceso de maduración (Ornelas-Paz *et al.*, 2013).

En general estos parámetros demuestran que aun cuando se registraron algunas diferencias significativas las plantas con categoría registradas mostraron la capacidad de producir fruta con características de calidad similares a las producidas por plantas de propagación convencional de varios ciclos.

En suma, la evaluación de los parámetros fisiológicos durante la producción, así como la determinación de los parámetros de calidad de la fruta indican que si es factible el uso las plantas con categoría fundación de Jacona y Zamorana para el establecimiento de una plantación comercial. Sin embargo, el reto está en la divulgación de este tipo de planta, ya que su uso podría favorecer el ahorro de un ciclo de propagación vegetativa en campo, y en consecuencia una disminución en los costos de producción.

CONCLUSIONES

Las plantas de fresa con categoría fundación presentan alta capacidad de propagación, en donde Zamorana presenta mayor producción de estolones por planta madre superando con un 30% a Jacona. El número de plantas hijas no es diferente entre Jacona y Zamorana ya que producen 36 plantas hijas por planta madre en condiciones de invernadero.

La tasa fotosintética, conductancia estomática y transpiración son más altas a inicios del periodo de propagación y disminuyen durante el periodo máximo de producción de estolones y plantas hijas. Por otro lado, el contenido de azúcares totales y la distribución de materia seca no demuestran ser diferentes entre cultivares.

Las plantas con categoría registrada presentan la misma capacidad productiva que las plantas de propagación convencional, además no muestran diferencias en cuanto a los parámetros de calidad de fruta físicos y químicos. Por lo que es factible su establecimiento con fines de producción comercial, con ahorro consecuente de un ciclo de propagación vegetativa en campo.

LITERATURA

- Carlen C., A.M. Potel and A. Ançay. 2009. Photosynthetic response of strawberry leaves to changing temperatures. *Acta Hort.* 838, ISHS.
- Darnell R.L. 2003. Strawberry Growth and Development. En N.F. Childers (ED.), *The Strawberry*. Dr. Norman F. Childers Publications, Gainesville, Flo, 6-7 p.
- García L.A. y J. L. Guardiola (2003) Transporte en el floema: *In: Fundamentos de Fisiología Vegetal*. J Azcon-Bieto, M Talon (eds.). McGRAW-HILL 3^{Era} reimpresión. Barcelona España. pp: 65-68.
- Hancock J.F and R.S. Bringham. 1988. Yield component interactions in wild populations of California *Fragaria*. *HortScience* 23: 889-890.
- Keutgen N., K. Chen, and F. Lenz. 1997. Responses of strawberry leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence and macronutrient contents to elevated CO₂. *J Plant Physiol* 150: 395-400.
- Kirschbaum D., D.J. Cantliffe, C.K. Chandler and R.L. Darnell. 2000. Initiation of flowering, runner formation, and carbohydrate distribution in Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) Mother and daughter plants grown at different temperatures. *HortScience* 35(3):622-628.
- MacKenzie S. J., C. K. Chandler, T. Hasing and V. M. Whitaker. 2011. The role of temperature in the late-season decline in soluble solids content of strawberry fruit in a subtropical production system. *HortScience* 46(11):1562-1566.
- Nishizawa T. 1998. Changes in sugar and starch concentrations of forced June-Bearing strawberry plants as influenced by fruiting. *Journal of American Society for Horticultural Science* 123(1):52-55.
- Ornelas-Paz J. J., E. M. Yahia, N. Ramírez-Bustamante, J. D. Pérez-Martínez, M. P Escalante-Minakata, V. Ibarra-Junquera, C. Acosta-Muñiz, V. Guerrero-Prieto and E. Ochoa-Reyes. 2013. Physical attributes and chemical composition of organic

strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. Albion) at six stages of ripening. *Food Chemistry* 138: 372-381.

Peil R.M. y J.L. Galvez. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *R. bras. Agrociencia* 11(1): 5-11.

Rodriguez-Bautista G., G. Calderón-Zavala, D. Jaen-Contreras y A. Curiel-Rodriguez. 2012. Capacidad de propagación y calidad de planta de variedades mexicanas y extranjeras de fresa. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(1): 113-123.

Verheul M. J., A. Sonstebj and S.O. Grimstad. 2006. Interactions of photoperiod, temperature, duration of short-day treatment and plant age on flowering of *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Korona. *Scientia Horticulturae* 107: 164-170.

Zebrowska J.I., J. Czernas, J. Gawronski and J.A. Hortynski. 2003. Suitability of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) microplants to the field cultivation. *Food. Agriculture and Environment* 34: 190-193.