



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

**INSTITUTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**FRUTICULTURA**

**ASIMILACIÓN DE CARBONO, PARTICIÓN DE BIOMASA Y  
PRODUCCIÓN DE FRUTO EN VARIETADES DE FRESA**

**ESTHER MEJÍA RAMÍREZ**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

2015

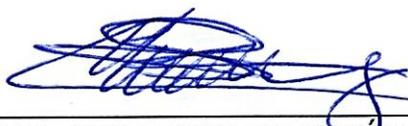
---

La presente tesis titulada “**ASIMILACIÓN DE CARBONO, PARTICIÓN DE BIOMASA Y PRODUCCIÓN DE FRUTO EN VARIEDADES DE FRESA**”, realizada por la alumna **ESTHER MEJÍA RAMÍREZ**, 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. GUILLERMO CALDERÓN ZAVALA

ASESOR



DRA. MARÍA TERESA BERYL COLINAS LEÓN

ASESOR



DR. OSCAR JAVIER AYALA GARAY

ASESOR



DRA. YOLANDA LETICIA FERNÁNDEZ PAVÍA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Marzo de 2015

# ASIMILACIÓN DE CARBONO, PARTICIÓN DE BIOMASA Y PRODUCCIÓN DE FRUTO EN VARIEDADES DE FRESA

Esther Mejía Ramírez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015.

México es un sobresaliente productor de fresa a nivel mundial. Este cultivo es muy importante por su impacto económico y social en las zonas productoras. El objetivo de este trabajo fue determinar la relación de la capacidad de asimilación de carbono y la conversión y partición de biomasa en nuevas variedades mexicanas de fresa y evaluar su capacidad de producción y calidad de fruto. Se estudiaron parámetros fisiológicos, de rendimiento y de calidad de siete variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.), cuatro variedades y dos selecciones mexicanas: CP Zamorana, CP Jacona, Nikté, Pakal, CP LE-7, CP 06-15 y una variedad comercial extranjera Festival creciendo en macetas en condiciones de invernadero en Montecillo, México. No se encontraron diferencias significativas entre variedades en las variables tasa fotosintética (TF), tasa transpiratoria (TT) y conductancia estomática (CE). 'Nikté' y 'Pakal' se muestran como variedades vigorosas con alto crecimiento de área foliar y alta acumulación de biomasa total pero con índice de cosecha (IC) inferior a Jacona que es la variedad con la mayor eficiencia fisiológica. Las variedades mexicanas Jacona, Zamorana y CP LE-7 tienen capacidad similar o superior en producción de biomasa e IC en comparación con Festival. La variedad mexicana CP Jacona es significativamente más productiva que la selección CP 06-15 pero estadísticamente igual a las demás. Todos los materiales generados en México presentan atributos de calidad de fruta y rendimientos similares a la variedad comercial Festival sobresale en rendimiento 'CP Jacona' y CP LE-7 en calidad de fruto por lo que podrían ser considerados altamente competitivos para ser cultivadas en México, previa validación comercial en condiciones de campo en las áreas productoras.

**Palabras clave:** Intercambio de gases, área foliar, producción, rendimiento y calidad, *Fragaria x ananassa*.

# CARBON ASSIMILATION, BIOMASS PARTITION AND FRUIT PRODUCTION IN STRAWBERRY VARIETIES

Esther Mejía Ramírez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

Mexico is an outstanding strawberry producer in the world. Because its social and economic impact, this horticultural crop is very important in the production areas. The aim of this study was to determine the relationship between carbon assimilation and biomass production and partitioning in new mexican strawberry varieties (*Fragaria x ananassa* Duch) and to evaluate their production capacity and fruit quality. Physiological performance, fruit production parameters and fruit quality characteristics were comparatively evaluated in six Mexican varieties and selections: CP Zamorana, CP Jacona, Nikté, Pakal, CP LE-7 and CP 06-15, and a commercial introduced variety Festival growing in pots in a greenhouse in Montecillo, Mexico. No significant differences were found between varieties in photosynthetic rate (TF), transpiratory rate (TT) neither stomatal conductance (CE). 'Nikté' and 'Pakal' seem to be vigorous varieties with high leaf area growth and elevated total biomass accumulation but with significant lower harvest index (IC) than the superior and more physiologically efficient variety, CP-Jacona, that showed the superior IC and the highest total biomass production. Jacona, Zamorana and CP LE-7 are varieties with similar or superior performance for biomass production and IC compared with the commercial Festival variety. 'CP Jacona' resulted significantly more productive than the selection CP 06-15, but statistically similar to all others. Because all evaluated genotypes created in Mexico produce fruit quality and yields similar to 'Festival' ('CP-Jacona' is outstanding in yield and CP LE-7 in fruit quality), they might be considered as highly competitive to be grown in Mexico, previously validated in field conditions in the growing areas.

**Key words:** gas exchange, leaf area, production, yield and quality, *Fragaria x ananassa*.

## DEDICATORIA

*A mis padres:*

*Brígido Mejía Torres y Fermina Ramírez Alonso que me enseñaron a luchar y vencer los obstáculos que se presentan en el camino. Por todo su apoyo, cariño y motivación. Los amo.*

*A mis hermanos y hermanas, Edu, Nico, Chano, Chely, Ale, Ani, Bris y Belsa, por apoyarme y alentarme para seguir. Los quiero mucho.*

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la oportunidad y el apoyo financiero que me brindó para realizar mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de continuar mis estudios para el desarrollo profesional.

A mi consejero el Dr. Guillermo Calderón Zavala por su apoyo, disposición de tiempo, comprensión, paciencia, calidez humana y por compartir sus conocimientos y experiencia.

A mis asesores de tesis la Dra. María Teresa Colinas León, al Dr. Oscar Javier Ayala Garay y a la Dra. Yolanda Leticia Fernández Pavía por su apoyo en la investigación.

Al Dr. Humberto Vaquera Huerta por el apoyo brindado en el análisis estadístico.

Al MC. Martín Aguilar Tlatelpa por la asesoría en el manejo de la nutrición del cultivo.

A los profes@res y trabajad@res del Colegio de Postgraduados quienes aportaron conocimientos para mi formación.

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b> .....	<b>3</b>
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1. Importancia y generalidades del cultivo de la fresa</b> .....	<b>4</b>
2.1.1. Importancia del cultivo de la fresa.....	4
2.1.2. Generalidades del cultivo de la fresa.....	4
<b>2.2. Intercambio de gases</b> .....	<b>5</b>
2.2.1. Fotosíntesis.....	6
2.2.1.1. Fotosíntesis en Hoja individual.....	8
2.2.1.2. Fotosíntesis en planta completa.....	8
2.2.2. Respiración .....	10
2.2.3. Transpiración.....	11
2.2.3.1. Importancia de la Transpiración .....	12
2.2.3.2. Factores que Afectan la Transpiración.....	13
2.2.4. Conductancia Estomática .....	14
2.2.5 Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) en las Plantas.....	15
<b>2.3. Balance de Carbono (BC)</b> .....	<b>17</b>
2.3.1. Factores que afectan el Balance de carbono (BC).....	18
<b>2.4. Producción y Partición de Materia Seca (MS)</b> .....	<b>18</b>
2.4.1. Factores que afectan la distribución de Materia Seca (MS) .....	19
2.4.1.1. Temperatura.....	19
2.4.1.3. Agua .....	21
2.4.2 Índice de cosecha y análisis de crecimiento o índice de área foliar .....	22
<b>2.5.1 Sólidos solubles totales o grados (°Brix)</b> .....	<b>23</b>
<b>2.5.2 Color</b> .....	<b>24</b>
<b>2.5.3 Firmeza</b> .....	<b>24</b>
2.5.4. Acidez titulable .....	25
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>26</b>
<b>CAPITULO III. ASIMILACIÓN DE CO<sub>2</sub>, CRECIMIENTO FOLIAR Y ACUMULACIÓN DE BIOMASA EN VARIEDADES MEXICANAS DE FRESA</b> .....	<b>42</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>42</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>43</b>
<b>3.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>44</b>
<b>3.2 MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>46</b>
3.2.1 Localización del experimento.....	46
3.2.2. Material vegetal .....	46

3.2.4 Tratamientos y diseño experimental .....	48
3.2.5 Variables respuesta .....	48
3.2.5.1 Crecimiento de la planta y fruto .....	48
3.2.5.2 Variables fisiológicas .....	49
3.2.6 Análisis Estadístico .....	50
<b>3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>51</b>
3.3.1 Tasa Fotosintética (TF) .....	51
3.3.2 Tasa Transpiratoria (TT) .....	53
3.3.3 Conductancia Estomática (CE) .....	55
3.3.4 Eficiencia en el uso del Agua (EUA) .....	57
3.3.6 Producción total y distribución de material seca .....	60
<b>3.4 CONCLUSIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>3.5 LITERATURA CITADA.....</b>	<b>68</b>
<b>3.6 APÉNDICE.....</b>	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO IV. CRECIMIENTO, CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRUTO DE VARIEDADES MEXICANAS DE FRESA.....</b>	<b>73</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>73</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>74</b>
<b>4.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>75</b>
<b>4.2 MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>76</b>
4.2.1 Localización del Experimento .....	76
4.2.2 Material Vegetal .....	76
4.2.3 Cultivo .....	78
4.2.4 Tratamientos y diseño experimental .....	79
4.2.5 Variables respuesta .....	79
4.2.5.1 Crecimiento del fruto .....	79
4.2.5.2 Variables de producción y rendimiento de fruto .....	79
4.2.6 Análisis Estadístico .....	81
<b>4.3 RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>81</b>
4.3.1 Dinámica de crecimiento de fruto (diámetro).....	81
4.3.2 Producción mensual de fruto por planta y producción acumulada por planta .....	84
4.3.3 Calidad de fruto .....	88
<b>4.4 CONCLUSIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>4.5 REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>92</b>
<b>4.6. APÉNDICE.....</b>	<b>95</b>

### LISTA DE FIGURAS DEL CAPÍTULO III

- Figura 1.** Producción de área foliar de siete variedades de fresa cultivadas en invernadero. Los datos son el promedio (n = 6). Se realizaron siete muestreos los días 20 de Noviembre, seis de diciembre del 2013, nueve de enero, seis de febrero, seis de marzo, siete de abril y 15 de julio del 2014. Las letras distintas entre variedades indican la diferencia significativa mediante la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ) ..... 59
- Figura 2.** Producción total de biomasa y su distribución en frutos, hojas, coronas y raíz en siete variedades de fresa cultivadas en invernadero (n = 6)..... 62

### LISTA DE FIGURAS DEL CAPÍTULO IV

- Figura 1.** Dinámica de crecimiento de fruto de siete variedades de fresa cultivadas en invernadero en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Edo. de México. Las letras distintas entre variedades indican diferencias mediante la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ )..... 82
- Figura 2.** Tiempo en días de crecimiento de fruto (antesis – cosecha) de siete variedades de fresa cultivadas en invernadero en Montecillo, Edo. de México. Los datos son el promedio más la desviación estándar (barras verticales) (n = 6). Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ )..... 83

**Figura 3.** Dinámica de producción de fruto acumulada por planta cada mes durante el periodo de evaluación de siete variedades de fresa en Montecillo, Edo. de México. Los datos son el promedio de seis plantas por cada variedad..... 85

**Figura 4.** Producción total acumulada de fruto por planta de siete variedades de fresa cultivadas en invernadero en Montecillo, Edo. de México. Los datos son el promedio más la desviación estándar (barras verticales) (n = 6). Letras distintas entre variedades indican diferencias significativas mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ )..... 87

### LISTA DE CUADROS DEL CAPÍTULO III

**Cuadro 1.** Comparación de la Tasa Fotosintética de CO<sub>2</sub> (TF,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), de siete variedades de fresa durante cuatro muestreos realizados en Montecillo, Edo. de México..... 51

**Cuadro 2.** Comparación de la Tasa Transpiratoria (TT,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), de siete variedades de fresa durante cuatro muestreos realizados en Montecillo, Edo. de México..... 54

**Cuadro 3.** Comparación de la Conductancia Estomática (CE,  $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), de siete variedades de fresa durante cuatro muestreos realizados en Montecillo, Edo. de México..... 56

**Cuadro 4.** Comparación de Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) de siete variedades de fresa durante cuatro muestreos realizados en Montecillo, Edo. de México..... 58

<b>Cuadro 5.</b> Porcentajes de Materia Seca de planta completa de siete variedades de fresa cultivada en invernadero, en Montecillo, Edo. de México. Muestreos realizados de Noviembre y Diciembre 2013, Enero, Febrero, Marzo, Abril y Julio del 2014. ....	65
---	----

#### LISTA DE CUADROS DEL CAPÍTULO IV

<b>Cuadro 1.</b> Características de calidad de fruto de siete variedades de fresa cultivadas en invernadero en Montecillo Edo. de México, evaluadas en diferentes fechas.....	90
---	----

<b>Cuadro 2.</b> Características cualitativas de siete variedades de fresa cultivadas en invernadero en Montecillo Edo. de México. ....	90
---	----

#### LISTA DE CUADROS DE APÉNDICE DEL CAPÍTULO III

<b>Cuadro A1.</b> Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV), coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ), prueba de significancia del modelo (Pr>F) y grados de libertad (GL). Para Tasa Fotosintética, Tasa Transpiratoria y Conductancia Estomática.....	71
--	----

<b>Cuadro A2.</b> Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV), coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ), prueba de significancia del modelo (Pr>F) y grados de libertad (GL). Para Área foliar y Eficiencia en el uso del agua.....	72
--	----

<b>Cuadro A3.</b> Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV), coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ), prueba de significancia del modelo	
--	--

(Pr>F) y grados de libertad (GL). Para Biomasa seca de las estructuras de la planta, hojas, corona, raíz y frutos. .....	72
---	----

## LISTA DE CUADROS DE APÉNDICE DEL CAPITULO IV

<b>Cuadro A1.</b> Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV), coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ), prueba de significancia del modelo (Pr>F) y grados de libertad (GL). Para dinámica de crecimiento en diámetro ecuatorial y longitudinal, días a fruto maduro (antesis a cosecha y producción acumulada de fruto por planta.....	95
---	----

<b>Cuadro A2.</b> Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV), coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ), prueba de significancia del modelo (Pr>F) y grados de libertad (GL). Para la variable calidad, aspectos evaluados son: peso, brillo, índice de saturación, ángulo del tono, firmeza, sólidos solubles y acidez Titulable.....	96
---	----

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) es una de las frutas más populares y con mayor demanda a nivel mundial (Olsson *et al.*, 2004). En México la superficie sembrada de fresa a nivel nacional fue de 7,737 hectáreas y con un volumen de producción calculado de 371,388 toneladas, con un rendimiento de 48.000 toneladas por hectárea (SIAP, 2014). La fresa es un fruto consumido principalmente en fresco. Para México el cultivo de fresa es de gran importancia socioeconómica por su fuerte demanda de mano de obra, además de que genera una elevada proporción de los ingresos por divisas que el país obtiene a través de las exportaciones frutícolas (Sánchez, 2008).

La producción de fresa en México depende de la importación de variedades extranjeras, provenientes del estado de California y Florida, E.U.A.; además para establecerlas, es necesario pagar altos costos de regalías a la empresa concesionaria para el uso de la planta y por lo tanto, hay una disminución de la rentabilidad del cultivo para el productor (Martínez-Bolaños *et al.*, 2008). Para resolver esta problemática el Colegio de Postgraduados y el Instituto Nacional de investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias han generado nuevas variedades mexicanas, con la finalidad de disminuir costos de producción y lograr un mejor aprovechamiento del mercado de exportaciones por parte de los productores. La planta es la base del cultivo (Sánchez-Sánchez, 2006). La investigación agronómica en fresa tiene prioridades para la obtención de altos rendimientos, resistencia a las enfermedades y plagas, transporte y conservación de la fruta. Sin embargo, en los últimos años, la investigación también considera como la seguridad alimentaria y calidad nutricional de la fruta (Capocasa *et al.*, 2008). Por otro lado, la oferta de los cultivares de fresa en el mercado mundial es muy dinámica. Conocer las características de calidad para cada cultivar, incluida la composición nutricional, se convierte en una estrategia útil de mercado (Ferreyra *et al.*, 2007). Existen numerosas publicaciones que señalan a la fresa como una excelente fuente de polifenoles antioxidantes, vitamina C y fibra alimentaria soluble e insoluble de buena calidad dietética (Hannum, 2004; Zafra-Stone *et al.* 2007). Los pigmentos

antociánicos y taninos hidrolizables (Elagitaninos) y no hidrolizables (proantocianidinas) son sus principales constituyentes interesantes para la salud (Atkinson *et al.* 2006). Estos compuestos parecen aportar beneficios disminuyendo el riesgo de padecer determinados tipos de cáncer (Chung *et al.* 2002).

Es muy importante determinar características fisiológicas, producción y de calidad en las variedades producidas en México, así como la capacidad fotosintética (TF), tasa transpiratoria (TT), conductancia estomática (CE), eficiencia en el uso del agua (EUA), rendimiento, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT). La composición química y los atributos de calidad de la fresa son altamente influenciados por la combinación de factores entre los que se encuentran los genéticos y geográficos (Macías-Rodríguez *et al.*, 2002).

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la relación de la capacidad de asimilación de carbono y la conversión y partición de biomasa en nuevas variedades mexicanas de fresa y evaluar su capacidad de producción y calidad de fruto.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

Evaluar y definir la relación entre los procesos fisiológicos de asimilación de CO<sub>2</sub> y la capacidad de producción de biomasa en plantas de fresa, comparando las variedades y selecciones Mexicanas con la variedad comercial extranjera Festival.

Conocer la capacidad de producción y calidad de fruto de las variedades mexicanas comparadas con la variedad extranjera referente al crecimiento, rendimiento de fruto y calidad del mismo.

## **HIPÓTESIS**

Las variedades mexicanas presentan mejor desempeño productivo, fisiológico y de calidad que la variedad extranjera comercial debido a su mejor adaptación dado que fueron generadas en condiciones del país.

## CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Importancia y generalidades del cultivo de la fresa

#### 2.1.1. Importancia del cultivo de la fresa

La fresa es una de las frutas aceptable por sus sabor, rica en vitaminas y minerales (Sharma and Singh. 2008), fuente de importantes antioxidantes y micronutrientes, siendo la fuente más rica en vitamina C y ácido fólico, en comparación con otros frutos (Olsson, *et al.*, 2004), poseen un alto contenido de agua, menor cantidad de carbohidratos de bajo peso molecular y una mayor relación glucosa/fructosa (Vinson *et al.*, 2008).

#### 2.1.2. Generalidades del cultivo de la fresa

La fresa, cuyo nombre proviene del latín "*Fragans*", fragante, pertenece a la familia de la Rosácea, genero *Fragaria.*, cuyas especies se encuentran difundidas por las zonas templadas y subtropicales. Las especies americanas como *Fragaria chiloensis*, Duch. (2n=56), han dado origen por medio de cruzamientos a cultivares de fresa de frutos grandes que se conocen como *Fragaria x ananassa* Duch. (Moroto, 1986). Esta última es una planta herbácea perenne, constituida por una corona, estolones que enraízan fácilmente, hojas palmeadas trifoliadas y dentadas que se insertan mediante un peciolo a la corona (Branzanti, 1989). Las flores se reúnen en inflorescencias. El fruto es un poliaquenio conocido botánicamente como "eterio", en el que la parte comestible, que es el receptáculo activado por la fecundación, y de hecho es un fruto falso, aloja numeroso aquenios (Moroto, 1988). Estas plantas poseen un sistema radical fasciculado, constituido por un gran número de raíces y raicillas, la mayor parte de las cuales (90%) se encuentran localizadas superficialmente. El tallo está constituido por un eje corto de forma cónica llamada corona en el que se observan numerosas escamas foliares. De esta corona pueden partir a través de yemas axilares unas ramificadas laterales denominadas estolones, que se caracterizan por poseer

entrenados muy distanciados entre sí, en los que aparecen rosetas de hojas y raíces adventicias. Estos estolones pueden a su vez ramificarse produciendo nuevos estolones.

Las fresas cultivadas en la actualidad son un híbrido octaploide reconocido por *Fragaria x ananassa* Duch., el cual posee un número somático de 56 cromosomas y es producto de la cruce de *F. virginiana* L., nativa de Norteamérica y norte de México y *F. chiloensis* Duch., nativa de las costas Oeste de Norte y Sudamérica. Ambas especies son producto de una antigua poliploidización y selección natural. El complejo origen de la especie y la facilidad con que se produce los cruzamientos explica la existencia de los diferentes cultivares y la posibilidad de obtener un programa de mejoramiento genético tipos adaptados a los más variados fines y ambientes (Branzanti, 1989). Actualmente se tienen variedades o híbridos que presentan un rango de adaptabilidad amplio que pueden ser cultivadas en climas tropicales y subtropicales (Aspuria *et al.*, 1996; Larson y Shaw, 2000).

## **2.2. Intercambio de gases**

El intercambio de gases se lleva a cabo a través de los estomas, cuya conductancia se controla por cambios en la turgencia de las células oclusivas y responde a diversos factores ambientales, entre los que destacan la luz, humedad y concentración de CO<sub>2</sub> (Assmann y Gershenson, 1991).

La verificación de intercambio de gases es una herramienta importante en la determinación de la adaptación de las plantas a ciertos ambientes de cultivo porque la reducción de productividad de la planta puede estar relacionado con la reducción de la actividad fotosintética, la cual a su vez puede estar limitada por factores específicos del sitio de cultivo (Paiva *et al.*, 2005;. Peixoto *et al.*, 2002).

Los cambios en la anatomía foliar pueden causar variaciones en el intercambio de gases (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), concentraciones de nitrógeno y eficiencia en el uso de agua (EUA) (Rengifo *et al.*, 2002; Colombo *et al.*, 2007) lo cual podría explicar las

estrategias adaptativas que una especie pueda tener ante determinadas condiciones ambientales.

Los procesos primarios que determinan primordialmente el crecimiento vegetal son los que involucran el intercambio de gases con el aire circundante, como fotosíntesis, respiración y transpiración (Taiz y Zeiger, 2010), estos procesos también influyen en la distribución de biomasa entre los órganos y en el rendimiento de fruto (Ho *et al.*, 1989).

La inhibición de la asimilación de CO<sub>2</sub> por temperaturas fuera del rango óptimo térmico afecta el crecimiento, el desarrollo y la distribución de los organismos (Bunce 2000), y tiene, por tanto, profundas consecuencias ecológicas y agrícolas (Ainsworth y Ort 2010).

### **2.2.1. Fotosíntesis**

Es un proceso biológico complejo en el que pueden distinguirse dos fases bien diferenciadas, una primera de absorción y conversión de energía y otra segunda de toma y asimilación de elementos constitutivos de la materia orgánica (C, H, O, N, S, etc.). La energía luminosa es captada por biomoléculas fotosensibles y transformada en una forma de energía bioquímica estable. Los elementos constitutivos son tomados de fuentes minerales inorgánicas e incorporados en biomoléculas orgánicas metabolizables (De Las Rivas, 2000). Se define como el proceso físico-químico por el cual las plantas, las algas y las bacterias fotosintéticas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos (Pérez y Carril, 2009).

La fotosíntesis es el proceso central de los modelos de simulación que estiman el crecimiento y productividad de todas las plantas (Ritchie, 1995 ). Diferentes grupos de investigación reportaron una disminución fotosintéticos debido al estrés hídrico retrasado en condiciones elevadas de CO<sub>2</sub>, y una mejor tolerancia a sequía bajo CO<sub>2</sub> elevado (Robredo *et al.*, 2007, 2010).

Algunos estudios reportaron un aumento en las tasas de fotosíntesis en respuesta a niveles elevados de CO<sub>2</sub> a temperatura elevada, pero no en otros (Logan *et al.*, 2010)

Se encontró que el rango de la tasa de máxima fotosíntesis para *F. linumae*, *F. nipponica* y *F. yezoensis* fue de 16 a 22 mg CO<sub>2</sub>·dm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>. No hubo diferencia significativa en la tasa de fotosíntesis en las tres especies (Oda, 2002). En la fresa cultivar CP Zamorana se presentaron las mayores tasas de fotosíntesis y asimilación de CO<sub>2</sub> en comparación con el cultivar Giant (Estrada, 2011).

Las hojas de fresa exhiben fotosíntesis tipo C3 como las hojas de la mayoría de otros cultivos de fruto, asimilando el carbón como CO<sub>2</sub> en el ciclo de Calvin via Ribisco (ribulosa bifosfato carboxilasa-oxigenasa). Los frutos de fresa requieren 128 KJ para producir 100 g de fruto, energía que en última instancia deriva de la fotosíntesis de las hojas y fotoasimilados convertidos a diferentes compuestos en el fruto (Blanke, 2002).

Estudios realizados mencionan que la tasa de máxima fotosíntesis para *F. linumae*, *F. nipponica* y *F. yezoensis* fue de 16 a 22 CO<sub>2</sub>-dm·h<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>. No hubo diferencia significativa en la tasa de fotosíntesis en las tres especies (Oda, 2002).

Las hojas de fresa contienen clorofilas en un rango aproximado de 1.5 – 2 mg de clorofila·g<sup>-1</sup> MF, más del doble de clorofila que en los frutos que va de 0.2 – 0.6 mg de clorofila·g<sup>-1</sup> MF (Blanke, 2002). Existe variación entre las especies de fresa para mejorar el aumento de las tasas fotosintéticas. La temperatura fotosintética óptima parece variar según la especie y las condiciones climáticas. Plantas de *F. vesca* L. mantienen una temperatura de 10/2°C durante el día y la noche, muestra un pico en la temperatura de 10 -20 °C, mientras que la óptima se mantiene alrededor de los 25°C., plantas de *F. virginiana* Duch., también se aclimatan rápidamente a altas temperaturas (25-30°C) (Dale y Luby, 1990).

Las fresas responden positivamente a los aumento de CO<sub>2</sub> en un corto plazo. La prolongada exposición a altas concentraciones de CO<sub>2</sub> generalmente resulta en una reducción en la tasa fotosintética, aunque los mecanismos varía entre genotipos (Dale y Luby, 1990).

#### **2.2.1.1. Fotosíntesis en Hoja individual**

La fotosíntesis es uno de los procesos metabólicos más altamente integrado y regulado para maximizar el usos de la luz disponible, minimizar el efecto dañino del exceso de luz y optimizar el uso de recursos limitantes de carbono y nitrógeno (Paul y Foyer, 2001).

La anatomía de la hoja es lo que establece su característica fotosintética, ya que se compone de una epidermis cubierta de una capa cerosa conocida como cutícula que tiene una función protectora contra la pérdida de agua; en la parte inferior de la hoja se encuentran los estomas que son poros o pequeñas aberturas por donde se intercambia el bióxido de carbono, oxígeno y vapor de agua con la atmósfera (Díaz, 2002). La fotosíntesis de las plantas está profundamente influenciada no sólo por factores externos, incluyendo la luz, la temperatura y la concentración de CO<sub>2</sub>, sino también por aspectos internos, como el contenido de clorofila, la actividad enzimática y la conductancia estomática (Hopkins y Hüner, 2009).

#### **2.2.1.2. Fotosíntesis en planta completa**

La productividad de la plantas se ve influenciada en gran medida por la complejidad del dosel y el crecimiento, el cual a su vez hace imposible medir la totalidad de las hojas por separado. Una solución común a este problema es tomar una muestra de las lecturas de las hojas y tener como base los datos de la hoja individual y estimar las características del medio ambiente en el dosel y con esto obtener un

modelo respuesta del dosel de la planta en estudio (Corelli-Grappadelli y Magnanini, 1993).

La fotosíntesis es uno de los principales procesos fisiológicos afectados por el estrés de calor en las plantas. En general se considera que la regulación negativa inducida por el calor de la fotosíntesis es debido al deterioro de la fotoquímica en la reacción de la luz y la reducción en la activación de Rubisco en el proceso enzimático (Haldimann y Feller, 2004).

Entre las aplicaciones derivadas del conocimiento o la manipulación de la fotosíntesis se incluyen: la mejora de la producción de los cultivos, la comprensión de la diferencias de productividad entre diferentes ecosistemas, o la depresión de los efectos de cambios ambientales sobre la composición y productividad de las comunidades vegetales (Medrano y Flexas, 2000).

Para la medición del intercambio de gases de la parte aérea completa de la planta se utiliza un sistema abierto de medición de fotosíntesis neta (el  $\text{CO}_2$  asimilado en fotosíntesis menos el gastado en respiración de todas las partes aéreas encerradas en la cámara). Las cámaras pueden ser fabricadas con plástico transparente Mylar de calibre de 0.025 mm. (de Du Pont Co, Wilmington, Del). Las dimensiones se determinan antes de su construcción y es de acuerdo al tamaño de las plantas en las que serán usadas las cámaras. Un flujo de aire se hace entrar a la cámara por la parte de abajo y sale por la parte superior. El aire es impulsado por una bomba con motor eléctrico a través de una tubería de PVC. Este flujo se mide con en el centro del tubo de PVC con un micro anemómetro conectado a un equipo Solomat MPM510e (Solomat Neutronics Co. Norwalk, Conn). El diferencial de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  entre la entrada y salida de la cámara será medido con un analizador de gases al infrarrojo Sistema portátil de fotosíntesis CIRAS para medir intercambio neto de  $\text{CO}_2$ . La dificultad de controlar temperatura en el campo en condiciones de descarga de radiación total, trabajar con árboles frutales grandes y la dificultad de separar los efectos de temperatura, de efectos de otros factores, son las razones principales de la falta de estudios sobre

efectos de temperatura sobre balance y partición de carbono en árboles frutales (Calderón, 2005).

Hay una gran variación en las respuestas de temperatura a fotosíntesis, tanto dentro como entre las especies, así como las variaciones diarias y estacionales significativas (Huve *et al.*, 2006; Kattge y Knorr, 2007).

### **2.2.2. Respiración**

La respiración es un proceso bioquímico tan importante como la fotosíntesis: la energía de los carbohidratos se transfiere a moléculas de ATP y con ello la energía queda disponible para las necesidades energéticas de la célula (Díaz, 2002). La fotosíntesis y la respiración son los procesos fisiológicos más fundamentales para la planta que afectan el ciclo del carbono en una escala que va desde la hoja al toda la planta completa (Cavaleri *et al.*, 2008). Aproximadamente del 30 a 80% de carbono (C) asimilado al día por la fotosíntesis es respirado y regresa a la atmósfera con 50 a 70% de la respiración de la planta entera que tiene lugar en las hojas (Atkin *et al.*, 2007).

La respiración es esencial para el crecimiento y mantenimiento de los tejidos vegetales y desempeña un papel importante en el equilibrio de la célula individual, toda la planta, el ecosistema y ciclo global del carbono (González-Meler *et al.*, 2009). Por otra parte, la hoja de la respiración protege el aparato fotosintético de los daños por oxidación foto inhibitorio exceso fotosintética y equivalentes reductores (Noguchi y Yoshida, 2008).

Perder carbohidratos a través del aumento de la respiración, en particular en la vía respiratoria podría ser una de las maneras en que las plantas evitan la temprana inhibición de la fotosíntesis (Millenaar y Lambers, 2003). Otro proceso es posible, a saber, la exudación como un desbordamiento de hidratos de carbono (Hill *et al.*, 2007; Phillips *et al.*, 2009).

La sensibilidad a la temperatura de la fotosíntesis difiere de la de la respiración, y por lo tanto la relación entre los dos procesos puede ser alterado después de un cambio a corto plazo en la temperatura (Loveys *et al.*, 2002).

### **2.2.3. Transpiración**

La transpiración es la pérdida de agua en forma de vapor a través de los estomas, cutícula, y la peridermis (lenticelas) donde ocurre de 80 a 90 % de la transpiración (Torres, 1995). Se ha estimado que una planta de maíz debe transpirar 600 kg de agua para producir un kg de grano de maíz seco, y para producir un kg de biomasa seca debe transpirar 225 kg de agua. De la cantidad total de agua que es absorbida del suelo, transportada en el tallo y transpirada hacia la atmósfera, solamente una fracción muy pequeña de 1% se incorpora a la biomasa (Taiz y Zeiger, 2002). La pérdida de agua en las plantas por transpiración es muy alta; en algunos frutales se requiere un total de 500 kg de agua para producir un kg de materia seca, de lo cual se queda en los tejidos aproximadamente 1% y se pierde por transpiración 99% (Díaz, 2002). La evaporación del agua en las hojas consume la mayor parte del gradiente de energía necesaria para el movimiento del agua (Sánchez y Aguirreola, 1996).

La transpiración es un mal necesario, ya que los estomas se abren en presencia del estímulo luminoso, para absorber el CO<sub>2</sub> requerido en la fotosíntesis; aunque el balance hídrico se altere, al escaparse el agua de la planta (Caird, *et al.*, 2007).

La transpiración de la hoja depende de dos factores principales: (1) la diferencia en la concentración del vapor de agua entre los espacios de aire de las hojas y el aire externo; y (2) la resistencia de difusión de esta ruta (Nobel, 1999). En general, cuando las plantas están bajo alguna forma de estrés reduce la conductancia estomática y transpiración y aumentar la eficiencia del uso del agua. Bajo estas condiciones, la tasa

fotosíntesis también acaba por reducirse (Ferraz *et al.* 2012).

### **2.2.3.1. Importancia de la Transpiración**

La transpiración debe ocurrir en organismos que dependen del intercambio de gases y de la incidencia energética para su nutrición; no obstante, el proceso de transpiración posee algunos efectos laterales. El flujo del agua a través de la planta, causado por la transpiración, suministra un sistema transportador de minerales desde el suelo. El efecto benéfico posible de la transpiración es el eficaz enfriamiento de la hoja. El calor de la evapotranspiración del agua es próximo a las 600 cal/g; esta magnitud de pérdida calórica puede ayudar a mantener temperaturas fisiológicamente eficientes a plena luz solar. Pero la reducción real de temperatura por transpiración es normalmente del orden de 2 a 3 °C. La pérdida de temperatura por radiación y convección parece más eficiente para mantener las hojas frescas, excepto bajo condiciones especiales (Lira, 1994).

Por la baja tasa de transpiración que tiene la fresa, se ha considerado tolerante a la sequía (Grant *et al.*, 2010). Las características tolerantes a la sequía de algunos cultivares de fresa como ajuste osmótico, pequeña área foliar y la baja tasa de transpiración son beneficio para la selección de cultivares que toleren la sequía (Grant *et al.*, 2010).

Se ha encontrado que la transpiración es necesaria para el crecimiento normal de las plantas; algunas parecen desarrollarse con más lentitud al 100% de humedad relativa, comparado con las plantas que sobreviven bajo condiciones normales. Debe señalarse que la transpiración se produce aún en condiciones de aire saturado, porque la temperatura foliar ante la luz solar es usualmente mayor que la temperatura del aire circundante. Por lo tanto, el interior de la hoja tendrá normalmente una presión de vapor más alta que la del aire que la rodea, incluso a 100% de humedad relativa (Lira, 1994).

La transpiración es un determinante primario del balance energético de la hoja y del estado hídrico de la planta. Este proceso comprende la evaporación del agua desde las células superficiales en el interior de los espacios intercelulares y su difusión fuera del tejido vegetal principalmente a través de los estomas y en menor medida a través de la cutícula y las lenticelas. Junto al intercambio de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), determina la eficiencia de uso del agua de una planta (Squeo y León, 2007)

### **2.2.3.2. Factores que Afectan la Transpiración**

Puesto que la mayor parte de la transpiración ocurre por medio de los estomas, el grado de apertura estomática es un factor de importancia primordial en su control. El contenido hídrico de la planta puede afectar la transpiración de dos maneras: 1) Indirectamente, afectando la apertura estomática; y 2) Directamente, afectando el gradiente de concentración de vapor desde las superficies celulares de la hoja al aire.

El contenido de humedad del aire (humedad relativa) ejerce un marcado efecto sobre la transpiración, pues modifica el gradiente bajo el cual se difunde el vapor de agua; así la temperatura afecta enormemente la presión del vapor de agua necesaria para saturar el aire (Lira, 1994).

Los cambios en los factores ambientales son más evidentes en condiciones de campo donde las plantas pueden ser sometidas a tensiones mínimas e inevitables a las que deben responder. Por lo tanto, los estudios en condiciones no controladas son necesarios para la comprensión de los acontecimientos tales como la fase reproductiva de plantas a nivel agronómico (Pérez y Melgarejo, 2015).

Los factores ambientales más importantes que afectan la transpiración son: radiación, déficit de presión de vapor del aire, temperatura, velocidad del viento y suministro de agua. Entre los factores de la propia planta se encuentran: área foliar, estructura y exposición foliar, resistencia estomática y capacidad de absorción del sistema radical (Sánchez y Aguirreola, 1996). En general, la transpiración disminuye

cuando aumenta la resistencia de la hoja, el cierre de los estomas y la temperatura (Larqué y Trejo, 1990).

La temperatura del agua es el factor que controla la presión de vapor del agua. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la presión de vapor de una forma exponencial. La humedad relativa del aire es un factor importante de la transpiración, en relación a la temperatura del aire. La transpiración aumenta a medida que disminuye la humedad relativa del aire a una temperatura dada, ya que la fuerza impulsora de la transpiración es la diferencia de presiones de vapor ( $\Delta P$ ) entre el agua de la hoja ( $P$ ) y el agua en el aire ( $P_o$ ) (Hernández, 2013).

#### **2.2.4. Conductancia Estomática**

La conductancia estomática, indica el grado de apertura de los estomas (Salisbury y Ross, 1992). Si un porcentaje de los estomas están cerrados, la conductancia se reduce en esa proporción (André y Du Cloux, 1993). Por lo tanto, al reducir la apertura estomática se reduce la pérdida de agua, y de esta manera las plantas utilizan menos agua para crecer (Bazzaz y Fajer, 1992). Por lo tanto, la conductancia estomática y la capacidad enzimática en las hojas de las plantas han sido reconocidos como factores reguladores importantes para la fotosíntesis (Evans *et al.*, 2009;. Flexas *et al.*, 2008; Pons *et al.*, 2009).

El control de los estomas y el estado hídrico de las plantas cambian de acuerdo con las condiciones climáticas por lo que varían a lo largo del día y durante todo el ciclo fenológico de las plantas (Pandey *et al.*, 2003) (Thomas y Winner, 2002;. Kenzo *et al.*, 2006).

La conductancia estomática se reduce en forma considerable cuando existe déficit de la humedad, lo cual provoca pérdidas de rendimiento, pero evita la deshidratación de la planta. Este mecanismo es una estrategia de sobrevivencia, a costa de perder eficiencia en el uso del agua (Ludlow y Muchow, 1990; Ritchie *et al.*,

1990; Webb y Mansfield, 1992). El nivel de conductancia estomática está dada por el balance de la turgencia entre las células guarda y las subsidiarias de los estomas (Ludlow y Muchow, 1990). Otros estudios han indicado que no hay limitación estomática a la fotosíntesis bajo estrés. Es difícil justificar que la evolución del intercambio gaseoso sometido a bajo potencial hídrico y con pérdidas de agua asociadas no reduzca la fotosíntesis. Probablemente el aparato fotosintético se ajusta al estrés manteniendo una razonable tasa de asimilación de dióxido de carbono, lo cual requiere un cierto grado de apertura estomática (Fereres, 1984). Por otra parte, el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico reduce los efectos de las conductancias de difusión de CO<sub>2</sub> en la fotosíntesis y por lo tanto se espera que aumente la sensibilidad a la temperatura de la misma (Sage y Coleman, 2001; Sun *et al.*, 2013).

### **2.2.5 Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) en las Plantas**

El proceso de intercambio de gases, en el que las plantas incorporan a su biomasa (fijan) carbono de la atmósfera, también tiene lugar una pérdida (evapotranspiración) de vapor de agua desde la planta a la atmósfera. Así, la eficiencia en el uso del agua (EUA) de las plantas puede entenderse de manera genérica como el volumen de agua que éstas necesitan consumir (evapotranspirar) para incorporar a su biomasa una determinada cantidad de carbono proveniente de la atmósfera (en la que se encuentra en forma de CO<sub>2</sub>). De esta manera, la eficiencia en el uso del agua de las plantas dependerá principalmente de dos tipos de factores: en primer lugar, de aquellas características propias de la especie y variedad que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación de carbono y de evapotranspiración de agua; y en segundo lugar, de las características del ambiente en el que crece y se desarrolla la planta (Medrano, *et al.*, 2007).

La aplicación de agua a una parte de sistema de la raíz de una planta es ahora una práctica común en las áreas de producción de árboles frutales en todo el mundo (Glenn, 2000). Con el riego de déficit regulado (RDI) y secado zona radicular parcial

(PRD) se han reportado técnicas prometedoras para el Incremento de la EUA en varios cultivos (Kang *et al.*, 2002;. Gu *et al.*, 2004). RDI y PRD son alternativas de ahorro de agua, ya que se ha observado que dan como resultado aumentos EUA sin disminuir la productividad. (Stoll *et al.*, 2000).

Por otra parte, la eficiencia en el uso del agua también dependerá de la escala a la que se considere, pues bajo la sencilla definición que se ha indicado anteriormente, la eficiencia en el uso del agua puede ser considerada a escala de cultivo o de ecosistema, a escala de planta entera y a escala de hoja. Además del nivel de organización considerado, la escala temporal, esto es el período de tiempo que se considera en la medida de la EUA, añade complejidad tanto a la medida como a la interpretación fisiológica y ecológica de este parámetro (Medrano *et al.*, 2007).

Ghaderi y Siosemardeh (2011) encontraron que el estrés por sequía moderada afecta el intercambio de gases, mientras que el estrés grave sequía afecta a la clorofila, prolina y los niveles de carbohidratos solubles.

En plantas de fresa expuestas a la sequía, el cierre de los estomas puede estar mediada por aumento rápido en ácido abscísico (ABA) en la síntesis de la raíz y entrega de ABA a las raíces en la corriente de transpiración (Blanke y Cooke, 2004).

La EUA de los cultivos y ecosistemas tan sólo puede ser estimada de una manera aproximada, pues en condiciones de campo resulta muy difícil conocer con exactitud la cantidad de agua que realmente han consumido las plantas y su crecimiento en biomasa acumulada. Así, habitualmente, el consumo de agua se estima a partir de datos indirectos de precipitación (ingreso de agua) y el volumen de agua perdido por escorrentía, percolación o evaporación directa del suelo y que en ningún caso ha sido consumida por las plantas (Medrano *et al.*, 2007).

Por otra parte, otro factor determinante a la hora de medir o estimar la EUA de cultivos y ecosistemas es la forma de medir o estimar la producción de biomasa y, en el

caso de los cultivos, qué se considera producción: la biomasa total producida o la parte del cultivo que es cosechada. Más allá de las limitaciones metodológicas, existe la posibilidad de medir la EUA de cultivos herbáceos homogéneos mediante el uso de lisímetros y estos constituyen uno de los métodos más exactos de medir la eficiencia en el uso agua a escala de cultivo. No obstante, su elevado coste y el hecho de que tan sólo sean funcionales con cultivos herbáceos homogéneos constituyen importantes limitaciones a su uso (Medrano *et al.*, 2007).

La fresa es uno de los cultivos que requieren riego para producir un rendimiento óptimo. En las regiones con lluvias escasas en verano y los recursos limitados de agua para el riego, la fresa puede experimentar déficits de agua. Este problema se puede limitar al cultivo de fresa. Las plantas de fresa parecen ser afectados por la sequía y los genotipos difirieron en su respuesta a la deficiencia de agua (Klamkowski y Treder, 2008).

### **2.3. Balance de Carbono (BC)**

El balance de carbono es quizá la característica más básica de las plantas, el carbono es la moneda para el crecimiento, debido a esto los procesos reproductivos dependen de una buena reserva de hidratos de carbono. Importantes eventos en la evolución de la flora terrestre pueden estar correlacionados con los cambios en la economía del carbón de las plantas (Cowling, 2001).

La concentración de Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ha aumentado desde el período preindustrial 280-401,85  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  (ppm) en la actualidad (NOAA-ESRL, 2014). Se espera que este valor podría aumentar a una concentración atmosférica de entre 750 y 1.300 ppm para el final del siglo, si no se toman medidas correctivas para contrarrestar las emisiones (IPCC, 2014).

Las tasas de fotosíntesis de CO<sub>2</sub> determinan fuertemente el balance de carbono, los cuales están influenciados fundamentalmente por la concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en

la atmosfera. La influencia primaria del CO<sub>2</sub> sobre la fotosíntesis es a través de la Ribulosa- 1,5–bifosfato carboxilasa/oxigenasa (Rubisco), la enzima que cataliza la formación de los hidratos de carbono, precursores del CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>O (Cowling, 2001).

### **2.3.1. Factores que afectan el Balance de carbono (BC)**

Tomando en cuenta la definición del término, los factores que afectan el balance de carbono son precisamente los que interfieren de alguna manera con la relación fuente – demanda de carbono. Por ello es de suma importancia considerar la relación fuente – demanda entre hojas y frutos, puesto que la cosecha genera una competencia alta por fotosintatos y productos de reserva, y esta competencia repercute en la fisiología de la planta. (Ryugo, 1993).

La reducción de la conductancia del mesófilo mediada por la sequía disminuyen la disponibilidad de CO<sub>2</sub> en la Rubisco y la disminución de la concentración de CO<sub>2</sub> en los cloroplastos (Flexas *et al.*, 2002, 2009), y esta es la principal causa de la disminución de la fotosíntesis y se observa en la vid bajo escasez de agua (Flexas *et al.*, 2010).

Long *et al.*, (2004), sugieren que la limitación no estomatal de la fotosíntesis es atribuible a la reducción de la eficiencia de carboxilación o la reducida cantidad / actividad de Rubisco. Hay dos mecanismos básicos por los que se produce la regulación baja de la Rubisco. El primer mecanismo de la hipótesis de que la reducción en el contenido de Rubisco se produce como consecuencia de la acumulación de carbono en la hoja (Aranjuelo *et al.*, 2008, 2009, 2011). Niveles elevados de CO<sub>2</sub> disminuye a medida y las tasas de transpiración (Del Pozo *et al.*, 2005).

### **2.4. Producción y Partición de Materia Seca (MS)**

La partición de materia seca es un indicador de la distribución de carbono (fotoasimilados) hacia los distintos puntos de demanda en crecimiento, por lo que

puede considerarse como un parámetro muy importante en la determinación de la productividad. (García y Guardiola, 2003).

La respuesta fotosintética y respiratoria determinan la cantidad de carbono disponible para crecimiento de los diferentes órganos componentes de las plantas, el rendimiento real de fruto depende de la partición de ese carbono hacia sus componentes; y esa partición es afectada en gran medida por las prácticas de manejo; factores ambientales, principalmente temperatura (García y Guardiola, 2003), la carga de frutos también afecta la partición de recursos (fotoasimilados) entre el crecimiento vegetativo y reproductivo (Corelli - Grappadelli y Lakso, 2004).

La distribución de materia seca entre los diferentes órganos de una planta es el resultado final de un conjunto ordenado de procesos metabólicos y de transporte que gobiernan el flujo de asimilados a través de un sistema fuente-sumidero (Peil y Gálvez, 2005).

En Fresa se menciona que la producción de materia seca eficiente en la temporada crítica de días cortos y el clima frío se asocia con gran índice de área foliar y pecíolos verticales del cultivar, que permiten que la radiación solar penetre en la copa de la planta (Mochizuki *et al.*, 2014). La actividad de la raíz también puede evaluarse mientras se mide la tasa de respiración de las raíces porque la absorción de agua activo se produce cuando las raíces se respiran rápidamente (Kotula y Steudle, 2009).

## **2.4.1. Factores que afectan la distribución de Materia Seca (MS)**

### **2.4.1.1. Temperatura**

Las temperaturas bajas pueden causar cambios en la partición de la materia seca entre los órganos en crecimiento, y también en la acumulación de almidón y carbohidratos solubles; es posible que el crecimiento sea más sensible a las

temperaturas bajas, afectando de manera crítica a la fotosíntesis (Wardlaw, 1990). A temperaturas superiores de los 35°C, inician los problemas con la producción de ATP y NADPH, limitando con esto la fijación de CO<sub>2</sub> por lo que la formación de la ribulosa bifosfato se vuelve un factor limitante y con una temperatura extremos (mayor a 47°C), los fotosistemas de plantas (C3) son destruidos y consecuentemente, la importación y exportación de carbono entre los órganos de la planta se afecta drásticamente (García y Guardiola, 2003). Por tanto se puede concluir que el efecto de la temperatura en la distribución de carbono juega un papel muy importante.

La respuesta de la temperatura de la ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa / oxigenasa (Rubisco) propiedades catalíticas determina directamente la capacidad de asimilación de CO<sub>2</sub> de organismos fotosintéticos, así como su supervivencia en ambientes con diferentes condiciones térmicas (Galmés *et al.*, 2015).

A largo plazo, los cambios fenotípicos (aclimatación) y modificaciones evolutivas (adaptación) en las respuestas fotosintéticas a la temperatura son los procesos clave que optimizan el balance de carbono en el ambiente en donde se encuentran los hábitats de los organismos (Hikosaka *et al.*, 2006).

Con el avance en fisiología del estrés de los cultivos, la fluorescencia de la clorofila se ha convertido en una herramienta común para estudiar las respuestas de estrés in vivo en las plantas, en particular en PSII (Baker y Rosenqvist 2004, Baker 2008). Esta técnica se ha utilizado para detectar y cuantificar el daño en PSII en respuesta al estrés de temperatura en varios cultivos incluyendo cebada (Rizza *et al.* 2011), las legumbres (Herzog y Chai-Arree 2012) y maíz (Sinsawat *et al.* 2004).

#### **2.4.1.2. Luz**

Dado que la fotosíntesis es un proceso que sucede en función de la luz que se recibe por la hoja, la intensidad y calidad de la misma son componentes importantes en

la eficiencia de la fotosíntesis neta (Díaz, 2002). La luz puede tener un efecto considerable en el crecimiento vegetativo y reproductivo, por lo que el rendimiento se relaciona íntimamente con el total de interceptación de luz por unidad de área foliar. Durante el desarrollo del fruto, el sombreado disminuye el rendimiento, el tamaño, color y sólidos solubles del fruto, incluso puede inducir la caída del fruto (Flore y Layne, 1999).

La radiación solar ejerce una gran influencia en el cultivo de melón y es importante para los procesos fotosintéticos relacionados con la acumulación de área foliar, desarrollo de fruto, el contenido de azúcar y el color de la piel (Giehl *et al.*, 2008).

Pérez y Melgarejo (2015) mencionan que en *Passiflora edulis* Sims existe una disminución en la tasa de fotosíntesis en las horas de máxima radiación (cerca de 1,400 mol / m<sup>2</sup>s), y esto fue ligado a una disminución de conductancia estomática.

#### **2.4.1.3. Agua**

La sequía influye en la partición de la materia seca entre órganos en competencia y depende en gran parte de la estación, el clima y los órganos con alto potencial demandante. Si la sequía ocurre en primavera, cuando el desarrollo vegetativo es alto y relativamente bajo el desarrollo reproductivo, es el crecimiento vegetativo el primero en sufrir la alteración por falta de agua (Flore y Layne, 1999).

Estrés hídrico severo reduce significativamente el conductancia estomática, transpiración, fotosíntesis neta y el uso eficiente de la productividad del agua, independiente la variedad (Goncalves *et al.*, 2010).

El déficit de agua del suelo puede llevar a los estomas a limitaciones de la fotosíntesis. La actividad de PSII se puede investigar in vivo a través de las mediciones de fluorescencia de clorofila y el análisis de la cinética de fluorescencia rápidos (Strasser y Tsimilli-Michael, 2001).

Estudios en papaya mencionan que el factor agua es de extrema importancia dada que los déficits afectan la productividad y la calidad (Campostrini y Glenn, 2007; Campostrini *et al.*, 2010).

#### **2.4.2 Índice de cosecha y análisis de crecimiento o índice de área foliar**

El índice de cosecha es el indicador de la acumulación de materia seca en el órgano de interés agronómico (rendimiento agronómico) en relación al total producido por la planta, puede ser expresado como una fracción o porcentaje, puede estar dado en función al manejo del cultivo. Algunos resultados sugieren que la materia seca total es más importante que el índice de cosecha para la producción de plantas de alto rendimiento (Mochizuki *et al.*, 2014).

Las hojas, son las principales protagonistas de numerosas funciones vitales para el crecimiento y desarrollo de las plantas; tales como la radiación interceptada, absorción solar incidente, fotosíntesis, transpiración, respiración, fotorespiración y sintetizan los carbohidratos que van a traslocarse en los diferentes órganos; la fotosíntesis está relacionada directamente con la superficie foliar expresada como índice de área foliar (Legorburo *et al.*, 2007).

El índice de área foliar (IAF) se define como la relación entre la superficie de las hojas presentes por unidad de área de suelo (Hodgson, 1990). A medida que el IAF aumenta, menor será la cantidad de la luz que pueda llegar al suelo y mayor será la tasa de crecimiento. Cuando toda la luz incidente es interceptada, la tasa de crecimiento es máxima y el IAF es el óptimo. Puede ocurrir que la superficie de hojas sea excesiva, para este caso el IAF es superior al óptimo y las hojas basales no reciben suficiente luz (Baguet y Bavera, 2001; *In Rojas* 2011).

## **2.5 Elementos que conforman la calidad del fruto de fresa**

El concepto de calidad como forma de diferenciar productos evolucionó desde tiempos inmemoriales conjuntamente con el intercambio mismo. A medida que el comercio local o regional evoluciona hacia lo internacional, la calidad se consolida como la herramienta competitiva por excelencia, conduciendo a la necesidad de establecer estándares para separar la calidad en categorías o grados, así como para definir los límites de los defectos permitidos (FAO, 2003).

Los azúcares libres y ácidos orgánicos de muchas frutas y verduras son componentes importantes del sabor, y junto con aroma y juegan un papel importante en el mantenimiento de la calidad del fruto y la determinación del valor nutritivo (Wu *et al.*, 2012).

Los cambios físicos, fisiológicos, bioquímicos y microbianos se producen a ritmos diferentes y en diferentes grados, además están muy influidos por factores intrínsecos y extrínsecos, causando pérdidas significativas de calidad entre la cosecha, procesamiento, almacenamiento y consumo (Mahdavian *et al.*, 2007; Safizadeh *et al.*, 2007; Singh *et al.*, 2007; Kazemi *et al.*, 2011; Shirzadeh y Kazemi, 2011).

### **2.5.1 Sólidos solubles totales o grados (°Brix)**

Cuando las frutas maduran cambia la concentración de sólidos solubles en el jugo, que en su mayor parte son azúcares (Siller y Báez, 2009). En la fresa, los carbohidratos solubles se acumulan en el fruto en forma de glucosa, fructosa y sacarosa (Ranwala *et al.*, 1992), estos azúcares fructosa, glucosa y sacarosa son los tres componentes principales que contribuyen al contenido total de azúcar en fruta madura (Tian, 2003). Y representan aproximadamente el 99 % del contenido total de azúcares. El contenido total de azúcares normalmente se encuentra dentro del rango de 70 a 100 mg en 100 g de fruta fresca (Hubbard *et al.*, 1991). Los azúcares principales en el fruto de fresa son sacarosa, glucosa y fructosa, que representa más del 99% del total de los azúcares de las frutas maduras (Strum *et al.*, 2003). Además,

en las frutas de fresa están presentes la ribosa, arabinosa, xilosa, manosa y galactosa (Ojeda *et al.*, 2008).

Estudios anteriores han demostrado una correlación baja para los sólidos solubles y azúcares totales, acidez titulable y total de ácidos orgánicos, por consiguiente, los parámetros no son suficientemente buenos para la evaluación de la calidad de la fresa (Pérez *et al.*, 1997). Otros autores mencionan que los componentes de la calidad pueden ser sensoriales y nutricionales (Strum *et al.*, 2003). Las fresas son aceptadas con un contenido mínimo de sólidos solubles de 7 grados Brix (Mitcham *et al.*, 2002). El incremento en el contenido total de azúcares y ácidos aumenta la intensidad del sabor (Gómez *et al.*, 2002).

### **2.5.2 Color**

Las antocianinas son los principales compuestos que contribuyen al color rojo brillante de la fresa (Bodelón *et al.*, 2010) y están asociadas con una fuerte actividad antioxidante (Wang y Lin, 2000). El color y la apariencia son los aspectos críticos de calidad para los compradores a la hora de seleccionar las frutas y hortalizas frescas (Ragaert *et al.*, 2004). El atractivo color rojo de jugo de fresa es una propiedad de valor comercial (Rodrigo, *et al.*, 2007., In Ramírez, 2011).

El color de la pulpa de un fruto es un rasgo agronómicamente importante. Los carotenoides son los responsables de los diferentes colores de la pulpa de fruta de la sandía. (Cazzonelli y Pogson, 2010).

### **2.5.3 Firmeza**

Se ha demostrado que la firmeza de la fruta de fresa depende de la época de cosecha, variedad y condiciones de crecimiento (Krüger *et al.* 2002). Por otro lado se dice que la temperatura afecta el rendimiento y calidad de la fruta particularmente el sabor y la firmeza (Morgan, 2000).

Los cambios en la apariencia del producto y firmeza a menudo se observaron desde un principio, seguido de desarrollo de malos olores y sabores desagradables y la proliferación microbiana. De particular importancia son la decoloración (pardeamiento, blanqueamiento y translucidez), pérdida de firmeza (degradación de la membrana, el ablandamiento de tejidos y de iones de fuga) y disminuciones en el valor nutricional, junto con el desarrollo de malos olores, sabores y el crecimiento microbiano (Ruiz-Cruz *et al.*, 2010).

#### **2.5.4. Acidez titulable**

Determina la concentración total de ácidos contenidos en un alimento, hortaliza o fruto. Se determina mediante una volumetría ácido-base (determina los ácidos solubles como cítrico, málico, láctico, oxalacético, succínico, glicérico, fosfórico, clorhídrico, fumárico, galactourónico, glicérico, tartárico, etc.). Los ácidos influyen en el sabor de los alimentos (aspereza), el color, la estabilidad microbiana y en la calidad de conservación (Renquist y Reid, 1998). El ácido cítrico es el ácido orgánico principal en el fruto de la fresa y el ácido ascórbico es la forma predominante de la vitamina C (Lee y Kader, 2000), su concentración varía entre 9.15 y 20.27 g kg<sup>-1</sup> en la etapa madura del fruto (Cordenunsi *et al.*, 2002; Kafkas y Paydas, 2007). La concentración de ácido ascórbico es generalmente más alta en frutos maduros (Olsson *et al.*, 2004).

También se menciona que la acumulación de ácidos orgánicos, ácido ascórbico y azúcares solubles depende de los genotipos (Kafkas *et al.*, 2007). Las fresas son aceptadas con una acidez titulable de 0.8 % como máximo (Mitcham *et al.*, 2002).

La acidez titulable y la firmeza disminuyen al ser cosechados los frutos en estados más tardíos de maduración, mientras que los sólidos solubles totales y el índice de madurez se incrementaron únicamente cuando los frutos se cosecharon en estados más tardíos de maduración (Casierra y Aguilar, 2008).

## LITERATURA CITADA

- Ainsworth E. A, Ort D. R. 2010. How do we improve crop production in a warming world? *Plant Physiol* 154:526–530.
- André, M. and H. Du Cloux. 1993. Interaction of CO<sub>2</sub> enrichment and water limitations on photosynthesis and water efficiency in wheat. *Plant physiol. And Biochem.* 31:103 - 112.
- Aspuria, J.R., Y. Fujime, and N. Okuda. 1996. Strawberry and other small fruits for the highlands of the Philippines. *Tech. Bull. Fac. Agric. Kagawa Univ.* 48:1- 6.
- Assmann S., M.; Gershenson, A. 1991. The cinetics of stomatal responses to VPD in *Vicia faba*: electrophysiological and water relations models. *Plant Cell* 14:455–465.
- Aranjuelo I, J.J. Irigoyen, M. Sánchez-Díaz, S. Nogués. 2008. Carbon partitioning in N<sub>2</sub> fixing *Medicago sativa* plants exposed to different CO<sub>2</sub> and temperature conditions. *Funct Plant Biol.* 35:306–17.
- Aranjuelo I, A. Pardo, C. Biel, R. Savé, J. Azcón-Bieto S. , Nogués. 2009. Leaf carbon management in slow-growing plants exposed to elevated CO<sub>2</sub>. *Glob Change Biol* 15:97–109.
- Aranjuelo I, L. Cabrera-Bosquet, R. Morcuende, J.C. Avice, S. Nogués, Araus J. L, 2011. Does ear C sink strength contribute to overcoming photosynthetic acclimation of wheat plants exposed to elevated CO<sub>2</sub>? *J Exp Bot* 62:3957–69.
- Atkinson C.J., Dodds P.A. Ford Y.Y., Le Miere J. Taylor J.M., Blake P.S., Paul N. 2006. Effects of cultivar, fruit number and reflected photosynthetically active radiation on *Fragaria X ananassa* Productivity and fruit ellagc acid and ascorbic concentrations. *Annals of Botany. London.* 97(3): 429-41.
- Atkin, O.K., I. Scheurwater, , T.L Pons. 2007. Respiration as a percentage of daily photosynthesis in whole plants is homeostatic at moderate, but not high, growth temperatures. *New Phytol.* 174, 367e380.
- Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2000. *Fundamentos de Fisiología Vegetal.* Mcgraw-Hill-Interamericana de España. 581 p.

- Baguet, H.A. y Bavera, G.A. 2001. Fisiología de la planta pastoreada. Facultad de Agronomía y veterinaria. Universidad Nacional del Río Cuarto. Provincia de Córdoba, Argentina.
- Baker N.R. 2008. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annu Rev Plant Biol* 59: 89–113.
- Baker NR, E. Rosenqvist. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *J Exp Bot* 55: 1607–1621.
- Bazzaz, F. A. and E. D. Fajer. 1992. Plant life in a CO<sub>2</sub> rich world. *Scient. Amer.* 266: 18 - 24.
- Bodelón, G. O., M. Blanch, M. T. Sánchez B., M. I. Escribano, C. Merodio. 2010. The effects of high CO<sub>2</sub> levels on anthocyanin composition, antioxidant activity and soluble sugar content of strawberries stored at low non-freezing temperature. *Food Chem.* 122: 673-678.
- Bunce J. A. 2000 Acclimation of photosynthesis to temperature in eight cool and warm climate herbaceous C<sub>3</sub> species: temperature dependence of parameters of a biochemical photosynthesis model. *Photosynth Res* 63:59–67
- Blanke, M. 2002. Photosynthesis of strawberry fruit. *Acta Horticulturae* 567:373-375.
- Blanke. M.M. and D.T. Cooke. 2004. Effect of flooding and drought on stomatal activity, transpiration, photosynthesis, water potential and water channel activity in strawberry stolons and leaves. *Plant Growth Regul.* 42:153-160.
- Branzanti, E.C. 1989. La Fresa. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 119 p.
- Calderón, Z. G. 2005. Temperature effects on fruit and vegetative growth, carbon dioxide exchange and dry matter partitioning in the apple tree. PhD. Dissertation, Cornell University, NY, USA.
- Calderón, Z. G. y R. Vega del R. 2009. Variedades Mexicanas y Cultivares Comerciales Extranjeros de Fresa. Pp. 56-60. In: Cano, M. R., A. E. Becerril – Román, G. Calderón Z., A. López J. y C. Saucedo V. (Editores). 2009. II Simposium Nacional de Producción Forzada de Frutales y I Curso nacional de producción Forzada de Durazno y Frutillas. Colegio de Postgraduados. México, 147 p.

- Cair, A., M. Richards, H. J. and Donovan, A., L. 2007. Nighttime Stomatal Conductance and Transpiration in C3 and c4 Plants. *Plant Physiology*. Vol. 143, 4-1, .pp
- Capocasa, F., J. Scalzo, B. Mezzetti, and M. Battino. 2008. Combining quality and antioxidant attributes in the strawberry. The role of genotype. *Food Chemistry* 111:872-878.
- Cavaleri, M.A., S.F. Oberbauer, M.G. Ryan, 2008. Foliar and ecosystem respiration in an old-growth tropical rain forest. *Plant Cell Environ.* 31, 473e483.
- Cantero C. 1989. Caracterización agronómica y respuesta a la fertilización nitrogenada de genotipos de cebada (*Hordeum vulgare*, L) y triticale (*XTriticosecale*, Wittmark). Tesis Doctoral. ETSIA Lleida.
- Cazzonelli, C. I., & B. J. Pogson. (2010). Source to sink: Regulation of carotenoid biosynthesis in plants. *Trends in Plant Science*, 15, 266–274.
- Colombo R, O. Marin, S. Irazabal, W. Tezara. 2007. Relaciones Hídricas, Fotosíntesis y Anatomía Foliar de dos especies del Género Calotropis . *Interciencia* 32: 791-796.
- Campostrini, E., D.M. Glenn, 2007. Ecophysiology of papaya: a review. *Braz. J. PlantPhysiol.* 19, 413–424.
- Campostrini, E., D.M. Glenn, O.K. Yamanishi. 2010. Papaya: environment and crop physiology. In: da Matta, Fabio (Ed.), *Ecophysiology of Tropical Tree Crops (Agri-culture Issues and Policies)*, vol. 1, first ed. Nova Science Publishers, New York, NY, pp. 287–308.
- Casierra-Posada F. y Ó. E. Aguilar-Avenidaño. 2008. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26(2), 300-307.
- Cordenunsi, B. J. Oliveira., M. Genoves, and F. Lajolo. 2002. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. *J. Agric. Food Chem.* 50: 2581-2586.
- Corelli-Grappadelli, L. and E. Magnanini. 1993. A Whole tree System for Gas-exchange Studies. *HortScience* 28(1): 41-45.

- Chaves M.M., Osorio J. y Pereira J.S. 2004. Water use efficiency and photosynthesis. En: Water use efficiency in plant biology (ed. Mark A. Bacon). Blackwell Publishing Ltd., London, UK. pp. 42-74.
- Corelli-Grappadelli, L. and A. N. Lakso. 2004. Fruit development in deciduous tree crops as affected by physiological factors and environmental conditions. *Acta Horticulturae* 636-441.
- Cowling, S. A. 2001. Plant carbon balance, evolutionary innovation and extinction in land plants. *Global Change Biology*. 7:231-239.
- Chung M.J., Lee S.H., Sung N.J. 2002. Inhibitory effects of whole strawberries, garlic juice or kale juice on endogenous formation of N-nitrosodimethylamine in humans. *Cancer letters* 182:1-10.
- Dale A. and J.J Luby. 1990. The strawberry into the 21<sup>st</sup> century. Timber Press. Portlan, Oregon. 133-135.
- De Las Rivas, J. 2000. La luz y el aparato fotosintético. In: Azcón - Bieto, J. y M. Talón. eds. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw - Hill Interamericana. Barcelona, España. pp: 131-153.
- Del Pozo A, P. Pérez, R. Morcuende, A. Alonso, R. Martínez-Carrasco. 2005. Acclimatory responses of stomatal conductance and photosynthesis to elevated CO<sub>2</sub> and temperature in a wheat crop growing at two levels of N supply, in a Mediterranean environment. *Plant Sci* 169:908–16.
- Díaz Montenegro H. D. 2002. *Fisiología de árboles frutales*. AGT EDITOR, S.A. México.
- Estrada, N.C. 2011. Cauterización fisiológica y productiva de dos variedades mexicanas de fresa (*Fragaria x ananassa*) para el subtropico. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Tex. México.
- Evans, J.R., R. Kaldenhoff, B. Genty, and I. Terashima. 2009. Resistances along the CO<sub>2</sub> diffusion pathway inside leaves. *J. Exp. Bot.* 60:2235-2248.
- FAO, 2003. <http://www.fao.org/docrep/006/y4893s/y4893s08.htm> Consulta realizada en Agosto 2013.
- Fereres E. 1984. Adaptation des vegetaux a la secheresse. Strategies et mecanismes. *Bull Soc bot Fr* 131, Actual bot 1:17-32.

- Ferraz, R.L.S.; A.S. Melo, J.F. Suassuna, M.E.B. Brito, P.D. Fernandes. E.S. Nunes Júnior. 2012. Trocas gasosas e eficiencia fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. *Revista Pesquisa Tropical*, v.42, p.181-188.
- Ferreira, R.M., S.Z. Viana, A. Mudrige, and A.R. Chávez. 2007. Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Selva. *Scientia Horticulturae*. 112:27-32.
- Flexas J, J. Bota, J.M. Escalona, B. Sampol, H. Medrano. 2002. Effects of drought on photo-synthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Funct Plant Biol* 29(4):461–71.
- Flexas, J., M. Ribas-Carbó, A. Díaz-Espejo, J. Galmés, and H. Medrano. 2008. Mesophyll conductance to CO<sub>2</sub> : Current knowledge and future prospects. *Plant Cell Environ*. 31:602-621.
- Flexas J, M. Barón, J. Bota, J.M. Ducruet, A. Gallé, Galmés J., *et al.* 2009. Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted Vitishybrid Richter-110 (*V. berlandieri* × *V. rupestris*). *J Exp Bot*;60(8):2361–77.
- Flexas J, J. Galmés, A. Gallé, J. Gulías, A. Pou, Ribas-Carbó M, *et al.* 2010. Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. *Aust J Grape Wine Res* 16:106–21.
- Flore, J. A. and D.R. Layne. 1999. Photoassimilate production and distribution in cherry. *HortScience* 34: 1015-1019.
- García L.A. y J. L. Guardiola. 2003. Transporte en el floema. En Azcón-Bieto J. y Talón M. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGRAW-HILL. 3<sup>era</sup> edición. Barcelona, España. 65-82.
- Galmés J., M. V. Kapralov, L. O. Copolovici, C. Hermida-Carrera, U. Niinemets. 2015. Temperature responses of the Rubisco maximum carboxylase activity across domains of life: phylogenetic signals, trade-offs, and importance for carbon gain. *Photosynth Res* 123:183–201.
- Giehl, R.F.H., E.B. Fagan, A.C. Eisermann, A. Brackmann, S.P. Medeiros, P.A. Manfron. 2008. Crescimento e mudanças físico-químicas durante a maturação

- de frutos de meloeiro (*Cucumis melo* var. *cantalupensis* Naud) híbrido torreon. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, p.371-377.
- Gómez, P.A. y Camelo, 2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira* . 20:38 – 43.
- Gonçalves, E. R., M. Vilma, V. J. Ferreira, L. E. Silva, T. P. Barbosa & W. de G. Duarte. 2010. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.14, n.4, p.378–386.
- González-Meler, M.A., E. Blanc-Betes, C.E. Flower, J.K. Ward, N. Gómez-Casanovas. 2009. Plastic and adaptive responses of plant respiration to changes in atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. *Physiol. Plantarum* 137, 473e484
- Gu, S.L., G.Q. Du, D. Zoldoske, A. Hakim, R. Cochran, K. Fugelsang, G. Jorgensen. 2004. Effects of irrigation amount on water relations, vegetative growth, yield and fruit composition of Sauvignon blanc grapevines under partial root zone drying and conventional irrigation in the San Joaquin Valley of California, USA. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 79, 26–33.
- Ghaderi N. and A. Siosemardeh. 2011. Response to Drought Stress of Two Strawberry Cultivars (cv. Kurdistan and Selva). *Hort. Environ. Biotechnol.* 52(1). 6-12.
- Grant, O. M., A. W. Johnson, M. J. Davies, C. M. James, and D. W. Simpson. 2010. Physiological and morphological diversity cultivated strawberry (*Fragaria × ananasa*) in response to water deficit. *Env. Exp. Bot.* 68:264-272.
- Glenn, D.M., 2000. Physiological effects of incomplete root-zone wetting on plant growth and their implications for irrigation management. *HortScience* 35,1041–1043.
- Haldimann P, U. Feller. 2004. Inhibition of photosynthesis by high temperature in oak (*Quercus pubescens* L.) leaves grown under natural conditions closely correlates with a reversible heat-dependent reduction of the activation state of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase. *Plant Cell Environ* 27:1169–1183.
- Hannum S.A. 2004. Potential impact of strawberries on human health: A review of the science. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44:1-17.

- Hernández G.R. 2013. Transpiración. Botanical Book. Universidad de los Andes – Mérida-Venezuela. <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/transpiracion/>.
- Herzog H, W. Chai-Arree. 2012. Gas exchange of five warm-season grain legumes and their susceptibility to heat stress. *J Agron Crop Sci* 198: 466–474.
- Hill P, Y. Kuzyakov, D. Jones, J. Farrar. 2007. Response of root respiration and root exudation to alterations in root C supply and demand in wheat. *Plant and Soil* 291: 131–141.
- Hikosaka K, K. Ishikawa, A. Borjigidai, O. Muller, Y. Onoda. 2006. Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *J Exp Bot* 57:291–302
- Ho, L. C.; Grange, R. I.; Shaw, A. F. 1989. Source/sink regulation. In: *Transport of Photoassimilates*. D. A. Baker (Ed.). Logman Scientific & Tecnical. Essex, England. pp:306-343.
- Hopkins, W. G. and, N. P. A. Hüner. 2009. *Introduction to Plant Physiology*, 4th edn. Hoboken, NJ: John Wiley.
- Hodgson. J. 1990. *Grazing management. Science into Practice*. Longman Scientific and Technical. Harlow, England. 204 p.
- Hubbard N, D.M. Pharr, S.C. Huber. 1991. Sucrose phosphate synthase and other sucrose metabolizing enzymes in fruits of various species. *Plant Physiology*. 82:191-196
- Huve K, I. Bichele, M. Tobias, U. Niinemets. 2006. Heat sensitivity of photosynthetic electron transport varies during the day due to changes in sugars and osmotic potential. *Plant Cell Environ* 29:212–228.
- IPCC, Intergovernmental panel on climate change. 2014. Summary for policymakers. In:Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, AdlerA, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, von Ste-chow C, Zwickel T, Minx JC, editors. *Climate change 2014. Mitigation of climatechange. Contribution of working group III to the fifth assessment report of theintergovernmental panel on climate change*. Cambridge, United Kingdom/NewYork, NY, USA: Cambridge University Press.

- Jones MM y Rawson HM. 1979. Influence of rate of development of leaf water deficits upon photosynthesis, leaf conductance, water-use efficiency and osmotic potential in sorghum. *Physiol Plant*, 45:103-111.
- Kafkas, E. and S. Paydas. 2007. Evaluation and identification of volatile compounds of some promising strawberry genotypes using HS-SPME technique by GC/MS. *W. J. Agric. Sci.* 3: 191-195.
- Kafkas, E., M. Kosar, S. Paydas, S. Kafkas, and K.H.C. Baser. 2007. Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages. *Food Chem.* 100: 1229-1236.
- Kang, S.Z., X.T. Hu, I. Goodwin, P. Jerie. 2002. Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard. *Sci. Hort.* 92, 277–291.
- Kattge J, W. Knorr. 2007. Temperature acclimation in a biochemical model of photosynthesis: a reanalysis of data from 36 species. *Plant Cell Environ* 30:1176–1190
- Kazemi, M., Aran, M., Zamani, S., 2011. Effect of calcium chloride and salicylic acid treatments on quality characteristics of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward) during storage. *Am. J. Plant Physiol.* 6, 183–189.
- Kenzo T, T. Ichie, Y. Watanabe, R. Yoneda, I. Ninomiya, T. Koike. 2006. Changes in photosynthesis and leaf characteristics with tree height in five dipterocarp species in a tropical rain forest. *Tree Physiol.* 26(7):865:873.
- Kuehl, R.O. 2001. *Diseño de experimentos. Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones.* 2ª Edición. Thomson Matemáticas. 666 p.
- Kotula, L. and E. Steudle. 2009. Measurements of oxygen permeability coefficients of rice (*Oryza sativa* L.) roots using a new perfusion technique. *J. Exp. Bot.* 60: 567–580.
- Klamkowski, K. and W. Treder. 2008. Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions. *J. Fruit Ornamental Plant Res.* 16:79-188.

- Krüger, E. G. Schmidt, and S. Rasim. 2002. Effect of irrigation on yield, fruit size and firmness of strawberry cv. Elsanta. *Acta Hortic.* 567:471-474.
- Larqué, A., C.M.T. Rodríguez, C. Trejo. 1990. Relaciones agua - planta en frijol. *Rev. Terra* 8: 18 - 22.
- Larso K. D. and D. V. Shaw. 2000. Soil fumigation and runner plant production: A synthesis of four years of strawberry nursery field trials. *Horticulturae Science.* 35:642-646.
- Lee, S.K. and A. A. Kader. 2000. Soil fumigation and runner plant production: A synthesis of four years of strawberry nursery field trials. *Sci. Hortic.* 35:642-646.
- Legorburo, F.J. Montero, J.A de Juan y Ma. R. Picornell, 2007. Estudio comparativo de tres sistemas de estimación del área foliar en *Vitis vinífera* L. (cv. Cencibel). Vicerrectorado de la Universidad de Castilla – La Mancha, Albacete, E.T.S.I. Agrónomos, Albacete, Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla – La Mancha, Albacete. XI Congreso SECH. Albacete. Actas de Horticultura nº 48. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas
- Lira, R.H. 1994. *Fisiología Vegetal*. Ed. Trillas S.A. de C.V., México, D.F.
- Logan B.A, C.R. Hricko, J.D. Lewis, O. Ghannoum, N.G. Phillips, Smith R, *et al.* 2010. Examination of pre-industrial and future [CO<sub>2</sub>] reveals the temperature-dependent CO<sub>2</sub> sensitivity of light energy partitioning at PSII in eucalypts. *Funct Plant Biol* 37(11):1041–9.
- Long SP, E.A. Ainsworth, A. Rogers, D.R. Ort. 2004. Rising atmospheric carbon dioxide: plants face the future. *Annu Rev Plant Biol* ;55:591–628.
- Loveys, B.R., I. Scheurwater, T.L. Pons, A.H. Fitter, , O.K. Atkin., 2002. Growth temperature influences the underlying components of relative growth rate: an investigation using inherently fast- and slow-growing plant species. *Plant Cell Environ.* 25, 975e987
- Ludlow, and R.C. Muchow. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water - limited environments. *Adv. Agron.* 43: 107 - 153.

- Macías- Rodríguez, L., E. Quero, and M.G. López. 2002. Carbohydrate differences in strawberry crowns and fruit (*Fragaria x ananassa*) during plant development of Agricultural and Food Chemistry. 50:3317-3321.
- Mahdavian, K., K.M. Kalantari, , M. Ghorbanli. 2007. The effect of different concentrations of salicylic acid on protective enzyme activities of pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. Pak. J. Biol. Sci. 10, 3162–3165.
- Martínez-Bolaños M.D., Nieto-Ángel, D. Téllez-Ortiz, J. Rodríguez-Alcázar, Ma. T. Martínez-Damián, H. Vaquera-Huerta y O. Carrillo-Mendoza. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares Mexicanos y Estadounidenses. Revista Chapingo Serie Horticultura. Vol. XIV (2): 113-119.
- Medrano H. y J. Flexas. 2000. Fijación del dióxido de carbono y biosíntesis de fotoasimilados. *In: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). Fundamentos de fisiología Vegetal. McGraw-Hill Interamericana. Barcelona, España. pp: 173-185.*
- Medrano H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas y J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. Investigaciones Geográficas 43: 63-84
- Millenaar FF, H. Lambers. 2003. The alternative oxidase: in vivo regulation and function. Plant Biology 5: 2–15.
- Mitcham, E. J., Crisosto, C. H. y A. Kader A. 2002. Fresa (frutilla): recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. University of California, Davis CA. USA.
- Mochizuki Y, Y. Iwasaki, M. Fuke and I. Ogiwara. 2014. Analysis of a High-yielding Strawberry (*Fragaria xananassa* Duch.) Cultivar ‘Benihoppe’ with Focus on Root Dry Matter and Activity. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 83 (2): 142–148.
- Morgan, L. 2000. Grow your own hydroponic strawberries. *in: A. Knutson (ed). The best of the growing edge. Vol. 2. New Moon Publishing, Corvallis, OR, USA. PP.99-102.*
- Moroto, J.V., B. Pascual, J Alargada, y S López Galarza. 1986. Mejora de la precocidad del cultivo del fresón *Fragaria x ananassa* Duch. cv Pájaro) mediante aplicaciones invernales de ácido giberelico. ITEA 63:36-38.
- Moroto, J.V. y G. López. 1988. Producción de fresas y fresones. Ediciones Mundi-prensa. España. 119p.

- Nobel, P. S. 1999. Physicochemical and environmental plant physiology, 2<sup>a</sup> edition. Academic Press. USA. 474 p.
- Noguchi, K., K. Yoshida. 2008. Interaction between photosynthesis and respiration in illuminated leaves. *Mitochondrion* 8, 87e99.
- NOAA-ESRL, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)-Earth System Research Laboratory (ESRL), USA. 2014. Monthly CO<sub>2</sub> concentration data set; <http://co2now.org/Current-CO2/CO2-Now/noaa-mauna-loa-co2-data.html>
- Oda, Y. 2002. Photosynthetic characteristics and geographical distribution of diploid *Fragaria* species native in Japan. *Acta Horticulturae* 567:381-383.
- Ojeda, R., L.A., R. Cárdenas N., P. Lobit., O. Grageda C., E. Valencia C y L. Macias R. 2008. Efecto de la nutrición nítrica y el sistema de riego en el sabor de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14:61 – 70.
- Olsson, M.E., J. Ekevall, K. E. Gustavsson, J. Nilsson, D. Pillai, I. Sjöholm, U. Svensson, B. Akesson, and M. G. L. Nyman. 2004. Antioxidants, low molecular weight carbohydrates, and total antioxidant capacity in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.): effects of cultivar, ripening, and storage. *Journal of Agricultural and Food*. 52:2490-2498.
- Paiva, A.S.; E.J. Fernandes,; T.J.D. Rodrigues,; J.R.P.Turco. 2005. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*, v.25, p.161- 169.
- Paul, M. J. y C. H. Foyer. 2001. Sink regulation of Photosynthesis. *Journal of Experimental Botany* 52:1383-1400.
- Pandey S, S. Kumar, P.K Nagar. 2003. Photosynthetic performance of *Ginkgo biloba* L. grown under high and low irradiance. *Photosynthetica*. 41(4):505-511.
- Peil, R. M. y J. L. Gálvez. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *R. bras. Agrociencia*, 11(1):05-11.
- Pérez A.G., R. Olias, J. Espada, J.M. Olias, and C.Sanz.1997. Rapid determination of sugars, nonvolatile acids, and ascorbic acid in strawberry and fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45:3545-3549.

- Pérez, E. y U. Carril. 2009. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. Serie Fisiología Vegetal. Reduca (Biología). 2(3): 1-47.
- Pérez, M. L. V. and L. M. Melgarejo. 2015. Photosynthetic performance and leaf water potential of Gulupa (*Passiflora edulis* Sims, Passifloraceae) in the reproductive phase in three locations in the Colombian Andes. Acta boil. Colomb., 20(1): 183-194.
- Peixoto, P.H.P., F.M. Matta, J. Cambraia. 2002. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. Journal of Plant Nutrition, v.25, p.821-832.
- Pons, T.L., J. Flexas, S. Von Caemmerer, J.R. Evans, B. Genty, M. Ribas-Carbó, and E. Bruognoli. 2009. Estimating mesophyll conductance to CO<sub>2</sub>: Methodology, potential errors, and commendations. J. Exp. Bot. 60:2217-2234.
- Phillips R.P., E.S. Bernhardt, W.H. Schlesinger. 2009. Elevated CO<sub>2</sub> increases root exudation from loblolly pine (*Pinus taeda*) seedlings as an N-mediated response. Tree Physiology 29: 1513–1523.
- Ramírez, G. H. 2011. Sistemas de producción de fresa de altas densidades. Tesis de Maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Ranwala A.P, Suematsu C, Masuda H.1992. Soluble and wall-bound invertases in strawberry fruit. Plant Sci 84: 59-64.
- Ragaert, P., W. Verbeke., F. D. Evlieghere, and J. Debevere. 2004. Concuemer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. Food Quality. 15: 259-270.
- Rengifo E, R. Urich, A. Herrera. 2002. Water relations and leaf anatomy of the tropical species *Jatropha gossypifolia* and *Alter nanthera cruces* , grown under an elevated CO<sub>2</sub> concentration. Photosyntetica 40 : 397-403.
- Renquist, R.A. y J.B. Reid. 1998. Quality of processing tomato (*Lycoperscion esculentum*) fruit from four bloom dates in relation to optimal harvest timing. New Zeal. J. Crop Hort. Sci. 26, 161-168

- Ritchie, S.W., H.T. Nguyen, and A.S. Holday. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci.* 30: 105 - 111.
- Ritchie, J.T. 1995. Agricultural systems applications through an international consortium ICASA. *Agricultural Systems.* 49: 329-335.
- Rizza F, D. Pagani, M. Gut, I.T. Prasil, C.Lago, A.Tondelli, L. Orru, E. Mazzucotelli, E. Francia, F.W. Badeck, C. Crosatti, V. Terzi, L. Cattivelli, A.M Stanca. 2011. Diversity in the response to low temperature in representative barley genotypes cultivated in Europe. *Crop Sci* 51: 2759–2779
- Robredo A, U. Pérez-López, H.S. de la Maza, B. González-Moro, M. La cuesta, Mena-Petite A, *et al.* 2007. Elevated CO<sub>2</sub> alleviates the impact of drought on barley improving water status by lowering stomatal conductance and delaying its effects on photosynthesis. *Environ Exp Bot* 59(3):252–63.
- Robredo A, Pérez-López U, Lacuesta M, Mena-Petite A, Muñoz-Rueda A. Influence of water stress on photosynthetic characteristics in barley plants under ambient and elevated CO<sub>2</sub> concentrations. *Biol Plant* 2010;54(2):285–92.
- Rodrigo, D., Van Loey, A., and M. Hendrickx. 2007. Combined thermal and high pressure color degradation of tomato puree and strawberry juice. *J. Food Engin* 79: 553-560.
- Rojas, G. A. 2011. Dinámica de crecimiento y rendimiento de forraje de diez variedades de alfalfa. Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. México.
- Ruiz-Cruz, S., Alvarez-Parrilla, E., de la Rosa, L.A., Martinez-Gonzalez, A.I., Ornelas-Paz, J.D.J., Mendoza-Wilson, A.M., Gonzalez-Aguilar, G.A., 2010. Effect of different sanitizers on microbial, sensory and nutritional quality of fresh-cut jalapeno peppers. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* 5, 331–341.
- Ryugo, K. 1993. *Fruticultura. Ciencia y Arte.* Rodríguez A., J. (trad.). AGT Ed. México. p 460.
- Safizadeh, M.R., M. Rahemi, , E. Tafazoli, Y. Emam. 2007. Influence of postharvest vacuum infiltration with calcium on chilling injury, firmness and quality of Lisbon lemon fruit. *Am. J. Food Technol.* 2, 388–396.

- Sage R.F., J.R. Coleman. 2001. Effects of low atmospheric CO<sub>2</sub> on plants: more than a thing of the past. *Trends Plant Sci* 6:18–24.
- Siller C., J. H. y M. A. Báez S. 2009. Recolección, empaque y manejo postcosecha. 409-426. *In: J. Z. Castellanos (ed). Manual de producción de tomate en invernadero. INTAGRY. Celaya, Guanajuato, México.*
- Singh, S., V. Chonhenchob, Y. Chantanasomboon. J. Singh. 2007. Testing and evaluation of quality changes of treated fresh-cut tropical fruits packaged in thermoformed plastic containers. *J. Test. Eval.* 35, 10, 1520/JTE100166.
- Sun Z, K. Hu<sup>ve</sup>, V. Vislap, U. Niinemets. 2013. Elevated [CO<sub>2</sub>] magnifies isoprene emissions under heat and improves thermal resistance in hybrid aspen. *J Exp Bot* 64:5509–5523.
- Shirzadeh, E., Kazemi, M., 2011. Effect of malic acid and calcium treatments on quality characteristics of apple fruits during storage. *Am. J. Plant Physiol.* 6, 176–182.
- Stoll, M., B. Loveys, P. Dry. 2000. Hormonal changes induced by partial root zone drying of irrigated grapevine. *J. Exp. Bot.* 51, 1627–1634.
- Squeo F.A & M. F. León. 2007. Transpiración. *Fisiología vegetal. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile* 3: 67-84
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1992. *Plant Physiology. Wadsworth. Inc. Betmont , Cal.* 682p.
- Sánchez, D.M. y J. Aguirreola. 1996. Relaciones hídricas. *In: Azcon, y M. Talon (eds.). Fisiología y Bioquímica Vegetal. MC GRAW – HILL - Interamericana de España, España. Pp: 49 - 90.*
- Sánchez-Sánchez, J. L. 2006. Producción orgánica de Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.), en tubos de PVC. *Universidad Autónoma de Sinaloa*, 1-4p.
- Sanchez, R.G. 2008. La red de valor fresa: Sistema de inteligencia de mercados. *Fundación Produce Michoacán.* 145p.

- Sinsawat V, J. Leipner, P. Stamp, Y. Fracheboud. 2004. Effect of heat stress on the photosynthetic apparatus in maize (*Zea mays* L.) grown at control or high temperature. *Environ Exp Bot* 52: 123–129.
- SIAP 2014. <http://www.siap.gob.mx/avance-de-siembras-y-cosechas-por-cultivo/> consulta realizada en 07 de Noviembre 2014.
- Sharma, R. R., and R. Singh. 2008. Fruit nutrient content and lipoxigenase activity in relation to the production of malformed and button berries in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) *Scientia Horticulturae*. 119:28-31.
- Stapleton, S. ., 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
- Strasser, R., M. Tsimilli-Michael. 2001. Stress in plants, from daily rhythm to global changes, detected and quantified by the JIP-test. *Chim. Nouv.* 75, 3321–3326.
- Strum, K., D. Koron, and F. Stampar. 2003. The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chemistry*. 83:417-422.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*. Sinauer Associates. 5<sup>ta</sup> edition Language: English. Pp.111-172.
- Tian, G. Y. 2003. Study on structure and bioactivity of glycoconjugate compounds of *Fructus lycii*. *World science and technology – Modernization of traditional Chinese medicine*, 5, 22–30 (in Chinese).
- Thomas S.C., W.E. Winner. Photosynthetic differences between saplings and adult trees: an integration of field results by meta-analysis. *Tree Physiol.* 2002;22(2-3):117-127.
- Torres, R.E. 1995. *Agrometeorologia*. Editorial Trillas, S.A México. 154p.
- Vinson, J. A., P. Bose, J. Proch, H. Al Kharrat, and N. Samman. 2008. Cranberries and cranberry products: powerful in vitro, ex vivo and in vivo sources of antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(14):584-589.

- Wang S. Y. and H. S. LIN. 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and development. *J. Agric. Food Chem.*48:140-146.
- Wardlaw I. F. 1990. The control of carbon partitioning in plants. *New Phytologist* 116: 341-381.
- Webb, A.A.R. and T.A. Mansfield. 1992. How do stomata work? *J Biolog. Educ.* 26: 19 - 26.
- Wu, B. H., J.B. Zhao, J.Chen, H. Xi, F., Jiang, Q., & Li, S. H. 2012. Maternal inheritance of sugars and acids in peach (*P. persica* (L.) Batsch) fruit. *Euphytica*, 188, 333–345.
- Zafra-Stone S. Yasmin T., Bagchi M., Chatterjee A., Vinson J.A., Bagchi D. 2007. Berry anthocyanins as novel antioxidants in human health and disease prevention. *Molecular nutrition y food research* 51:675-683.

### CAPITULO III. ASIMILACIÓN DE CO<sub>2</sub>, CRECIMIENTO FOLIAR Y ACUMULACIÓN DE BIOMASA EN VARIEDADES MEXICANAS DE FRESA

#### RESUMEN

El presente trabajo se realizó en fresa con la finalidad de evaluar comparativamente la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, área foliar y la acumulación de biomasa en variedades mexicanas (CP-Jacona, CP-Zamorana, Nikté, Pakal, CP 06-15, CP LE-7) y una comercial introducida (Festival). Plantas creciendo en macetas de las siete variedades se establecieron en un invernadero de vidrio localizado en el Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se muestrearon cuatro plantas de cada variedad por seis meses continuos, para evaluar crecimiento en materia seca y área foliar. En el séptimo mes, seis plantas de cada variedad fueron muestreadas. Éstas fueron utilizadas como repeticiones durante todo el ciclo de cultivo, en las cuales se evaluó la fotosíntesis (TF), transpiración (TT), conductancia (CE) y la eficiencia en el uso del agua (EUA) en cuatro ocasiones, y al término del estudio mediante muestreo destructivo se midió área foliar y materia seca total y por órgano. No se encontraron diferencias significativas en las variables fisiológicas de intercambio de gases (TF, TT y CE); sólo en la primera de las fechas de evaluación, se observa a 'Festival' con valores menores de TT y CE. 'Nikté' y 'Pakal' se muestran como variedades vigorosas con alto crecimiento de área foliar y de acumulación de biomasa total y con alta partición de materia seca hacia hojas, raíz y corona pero con índice de cosecha (IC) inferior a la variedad superior Jacona que es la variedad con la mayor eficiencia fisiológica dada por un IC superior y elevada producción de biomasa. Las variedades mexicanas Jacona, Zamorana y CP LE-7 son variedades con capacidad similar o superior en producción de biomasa e IC en comparación con la variedad comercia Festival.

**Palabras clave:** *Fragaria x ananassa*, asimilación de CO<sub>2</sub>, área foliar, acumulación de materia seca, partición de materia seca.

## CO<sub>2</sub> ASSIMILATION, LEAF GROWTH AND BIOMASS ACCUMULATION IN MEXICAN STRAWBERRY VARIETIES

### ABSTRACT

The present study was performed to comparatively evaluate the CO<sub>2</sub> assimilation rate, leaf area and biomass accumulation in Mexican strawberry varieties (CP Jacona, CP Zamorana, Nikté, Pakal, CP 06-15, CP LE-7) and a commercial foreign variety (Festival). Potted plants of the seven varieties were grown into a glass greenhouse located at Colegio de Postgraduados in Montecillo, Texcoco, Estate of Mexico. Four plants of each variety were sampled for six months in a row to evaluate dry matter and leaf area growth. In the seventh month, six plants were collected as samples. These plants were used as repetitions during the period of study. Photosynthetic rate (TF), transpiration rate (TT), and stomatal conductance (CE) were measured four times; water use efficiency (EUA) was calculated (TF/TT). and at the end leaf area and total dry matter and per organ were measured. No significant differences were found in the physiological variables (TF, TT and CE) of the gas exchange process; only at the earlier measurement, 'Festival' showed the lowest TF, TT and CE. 'Nikté' and 'Pakal' seem to be vigorous varieties with high leaf area growth and elevated total biomass accumulation with high dry matter partitioning to leaves, roots and crown but with significant lower harvest index (IC) than the superior and more physiologically efficient variety, CP-Jacona, that showed the superior IC and the highest total biomass production. Jacona, Zamorana and CP LE-7 are varieties with similar or superior performance for biomass production and IC compared with the comercial Festival variety.

**Key words:** *Fragaria x ananassa*, CO<sub>2</sub> assimilation, leaf area, dry matter accumulation, dry matter partitioning

### 3.1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de fresa se cultivan en todo el mundo y representan uno de los cultivos de bayas más importantes. Las plantas se cultivan de manera comercial en una amplia gama de entornos de zonas frías y cálidas templadas temperatura para enfriar y áreas subtropicales cálidas y las zonas con un clima mediterráneo (Hancock 2008). El cultivo de la fresa en México se basa en variedades extranjeras, provenientes de las universidades de California y Florida, lo que implica un incremento de costos de producción y un decremento en la rentabilidad del cultivo y calidad de la planta (Barrera y Sánchez, 2003). Los vegetales poseen mecanismos fotoselectivos sofisticados para capturar la energía lumínica, necesaria para la fotosíntesis (Jiao *et al.* 2007). La radiación solar es la fuente de energía para todos los procesos físicos y biológicos que ocurren sobre la tierra; es entonces, la fuente primaria de energía para la fotosíntesis y la productividad (Ayala, 1995).

La intensidad y la calidad de la luz son factores determinantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Fukuda *et al.*, 2008). Los procesos primarios que determinan primordialmente el crecimiento vegetal son los que involucran el intercambio de gases con el aire circundante, como fotosíntesis, respiración y transpiración (Taiz y Zeiger, 2006), estos procesos también influyen en la distribución de biomasa entre los órganos y en el rendimiento de fruto (Ho *et al.*, 1989). La fotosíntesis se define como el proceso físico-químico por el cual las plantas, las algas y las bacterias fotosintéticas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos (Pérez y Carril, 2009). La partición de carbono, es el proceso por el cual el carbono es reducido, distribuido por fotosíntesis de las hojas de la planta heterotrófica, órganos y tejidos, determina fuertemente el crecimiento de la planta y desarrollo, así como el rendimiento del cultivo (Genard *et al.*, 2008). Los hidratos de carbono resultantes de la fijación del mismo en las hojas y células se canalizan a los diferentes órganos de la planta, a través del floema. Los mecanismos de regulación se han descrito a lo largo de la partición de carbono, lo que permite la coordinación en el crecimiento y desarrollo de las diversas partes de la planta, así como permitir la interacción entre los órganos de demanda y las fuentes.

El CO<sub>2</sub> es uno de los sustratos principales de la fotosíntesis. En las plantas C<sub>3</sub> el incremento en la concentración intercelular de CO<sub>2</sub> se traduce en un incremento de la tasa de fotosíntesis neta, porque aumenta la asimilación de CO<sub>2</sub> y reduce la fotorrespiración. La tasa fotosintética de las plantas C<sub>3</sub> es sensible a variaciones de CO<sub>2</sub> en un margen mayor que en las plantas C<sub>4</sub>. La sensibilidad de las plantas C<sub>3</sub> al CO<sub>2</sub> puede ser utilizada para mejorar la productividad vegetal en invernaderos comerciales con control de CO<sub>2</sub>, porque se puede aumentar la fotosíntesis mediante una atmósfera con elevado CO<sub>2</sub>, lo que eventualmente podría resultar en mayor productividad (Azcon-Bieto y Talon, 2000).

La asimilación de CO<sub>2</sub>, área foliar y acumulación de biomasa están relacionados con la producción en las plantas; por ejemplo: Estrada (2011) encontró que la variedad Zamorana presenta mayor superficie de área foliar con una medida de 832.3 cm<sup>3</sup>, significativamente superior a las variedades extranjeras Festival y Giant. Por lo anterior, se cree que los nuevos cultivares y selecciones mexicanas de fresas presentan mayor eficiencia fisiológica dado que fueron generadas en condiciones apropiadas en nuestro país.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar y definir la relación entre los procesos fisiológicos de asimilación de CO<sub>2</sub> y la capacidad de producción de biomasa en plantas de fresa, comparando las variedades y selecciones Mexicanas 'CP-Zamorana', 'CP-Jacona', 'Nikté', 'Pakal', 'CP 06-15', 'CP LE-7' con la variedad comercial introducida 'Festival'.

## 3.2 MATERIALES Y METODOS

### 3.2.1 Localización del experimento

El estudio se llevó a cabo en un invernadero de vidrio no climatizado, ubicado en el Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Estado de México con: 19° 30' LN, 98° 53' LO, 2250 msnm.

### 3.2.2. Material vegetal

Se trabajó con cuatro variedades mexicanas de fresa CP Zamorana (CP 02-01), CP Jacona (CP 02-04), Nikté y Pakal, dos selecciones avanzadas CP LE-7, CP 06-15, y una variedad extranjera comercial: Festival. Las plantas provinieron de viveros establecidos en la zona de Zamora, Michoacán y en Ciudad Guzmán, Jalisco.

#### **Características de las variedades y selecciones:**

**CP Zamorana (CP 02-01):** altamente productiva de frutos grandes, de calidad y firmeza superior; producción precoz, con altos porcentajes de fruta con calidad de exportación; adecuada para consumo en fresco por su gran balance en sabor. Sensibilidad moderada a cenicilla (*Sphaerotheca macularis*) y mancha angular (*Xanthomonas fragariae*) (Calderón, *et al.*, 2009).

**CP Jacona (CP 02-04):** fruto grande y firme de excelente sabor, adecuado para consumo en fresco; altamente productiva con altos porcentajes de fruto con calidad de exportación; producción precoz. Limitada sensibilidad a enfermedades como cenicilla (*Sphaerotheca macularis*) y mancha angular (*Xanthomonas fragariae*) (Calderón, *et al.*, 2009).

**Nikté:** es un cultivar de día corto, adaptada al ambiente de Irapuato y climas semejantes, de precocidad media y potencial de rendimiento superior a 50 t.ha<sup>-1</sup> bajo la prevalencia del complejo viral de la fresa (CVF). Destaca porque produce fruta bastante grande y uniforme durante las primeras dos floraciones, fruta de color rojo brillante, pulpa firme como la de Camino Real, con buen sabor color rojo interno y

excelente vida de anaquel. En vivero tiene una capacidad de producción de planta semejante a Camino Real.

**Pakal:** es un cultivar de día neutro, adaptada al ambiente de Irapuato y climas semejantes así como al ambiente del Norte de Guanajuato en plantaciones refrigeradas. En Irapuato es una variedad más precoz que 'Sweet Charlie', 'Nikté' y 'Camino Real' y por ser esta su principal ventaja, se considera una opción importante para cultivarla en macrotunel. La fruta es de menor tamaño y firmeza que la de 'Nikté' y 'Camino Real', con color externo rojo brillante, aquenios sumergidos en la pulpa y una apariencia excelente entre octubre a marzo. En vivero es buena productora de planta, aunque no iguala la capacidad de propagación vegetativa de 'Nikté' y 'Camino Real'.

**Festival:** creada por la Universidad de Florida, EUA, produce frutos firmes, de color rojo profundo con excelente sabor. Esta variedad es susceptible a la antracnosis (pudrición de fruto y corona) causado por *Colletotrichum fragariae* (Stapleton *et al.*, 2001).

**CP LE-7:** es una selección avanzada del Colegio de Postgraduados que se ha mostrado altamente productiva, con entrada precoz en producción al inicio del ciclo de producción otoño-invierno. Su fruto es grande y firme, de color rojo brillante y muy buen sabor. La planta es de vigor medio, menor que Festival, y con buena capacidad de producción de plantas hijas. Se muestra tan tolerante o resistente a enfermedades y plagas comunes como la variedad comercial Festival. (Información proporcionada por el Dr. Guillermo Calderón Zavala)

**CP 06-15:** selección avanzada del Colegio de Postgraduados con alta capacidad de producción de fruto con calidad de exportación al inicio del ciclo productivo, muy competitiva. Produce frutos grandes de forma aplanada, firmes y de color rojo intenso, de excelente sabor. La planta es de vigor medio-alto con buena capacidad de producción de estolones. Presenta similar tolerancia o susceptibilidad que Festival y Camino Real a enfermedades como cenicilla y antracnosis, y plagas como ácaros. (Información proporcionada por el Dr. Guillermo Calderón Zavala)

### **3.2.3 Cultivo**

Para el cultivo se emplearon bolsas de plástico negras, con capacidad de 8 litros., se llenaron con una mezcla de suelo, peatmoss y agrolita con una relación de 1:1:1. El trasplante de las variedades CP Zamorana, CP Jacona, Festival, y las selecciones CP LE-7 y CP 06-15 se realizó el día dos del mes de Septiembre del 2013 a raíz desnuda, posteriormente para el día 27 del mismo mes se realizó el trasplante de las variedades Pakal y Nikté, éstas fueron trasplantadas con cepellón provenientes de charola. Después del trasplante inmediatamente se proporcionó el riego a capacidad de campo, y a partir de ahí se regó de manera manual aplicando 500 ml de agua al día, Para el 01 de Octubre del 2013 se empezó a utilizar el riego por goteo con la aplicación de la solución nutritiva basada en la solución de Steiner al 50%, con una conductividad eléctrica (C.E) de 1 las primeras dos semanas posteriores al trasplante y el tiempo seguido se aplicó una C.E del 2, la nutrición se proporcionó con una periodicidad de una vez por semana. Los riegos se proporcionan 3 veces al día con 3 minutos de duración cada uno, esto en el periodo de otoño e invierno, para primavera y verano se aplicó 10 a 11 riegos por día de un minuto cada riego. Se proporcionó aplicaciones de Ridomil Gold a 50 ppm (metalaxil) al riego, para evitar problemas de *Phytophthora*, así mismo se aplicó Abamectina y nitrato de calcio al 1% vía foliar para prevención de ataques del ácaro *Tetranychus urticae*.

### **3.2.4 Tratamientos y diseño experimental**

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar (Kuehl, 2001) con las variedades y selecciones como tratamientos. La unidad experimental consistió en una planta de fresa, con 30 repeticiones por tratamiento. En total se trasplantaron 210 plantas, de las cuales 42 permanecieron durante todo el periodo de evaluación.

### **3.2.5 Variables respuesta**

#### **3.2.5.1 Crecimiento de la planta y fruto**

**Área foliar.** Los muestreos se realizaron a partir del día 20 de Noviembre, 06 de Diciembre del 2013, 09 de Enero, 06 de Febrero, 06 de Marzo, 07 de Abril del 2014, en estas fechas se cosecharon cuatro plantas de cada variedad. Para finalizar con el experimento el día 15 del mes de Julio se realizó la última toma de lectura de esta variable y se extrajeron seis plantas por variedad, para la estimación del crecimiento final de dichas plantas, se determinó el área foliar con la ayuda de un integrador foliar LI – 3100C (LI-COR). En total se analizaron 30 plantas por tratamiento.

**Producción total, distribución y acumulación de materia seca.** Se determinó en las mismas fechas del área foliar tomando cuatro plantas de cada variedad para la estimación; es decir, se midieron en total 30 plantas realizando siete muestreos. Para las primeras seis fechas de evaluación se tomaron cuatro plantas por tratamiento para la estimación del crecimiento y los patrones de asignación de biomasa y para el último muestreo se evaluaron seis plantas de cada tratamiento. Cada planta muestreada se dividió en raíz, corona, hojas con peciolo, flores y frutos; se tomó el peso de materia fresca. Posteriormente las muestras de los distintos órganos se colocaron en un horno a 70°C hasta que alcanzó un peso constante, finalmente se pesó en una balanza digital y los datos se expresaron en gramos.

### **3.2.5.2 Variables fisiológicas**

**Tasa neta de fotosíntesis en hoja individual (TF), tasa transpiratoria en hoja individual (TT), Eficiencia en el Uso del Agua (EUA), conductancia estomática.**

La evaluación de intercambio de gases se realizó con un sistema abierto y portátil de análisis de gases en el espectro infrarrojo (LI-6400 Portable Photosynthesis System), esto quiere decir que las mediciones de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática están en base a las diferencias de concentraciones de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en una corriente de aire que fluye a través de una cámara foliar. El IRGA se ajustó y se calibró de acuerdo a las instrucciones del proveedor. Se realizaron cuatro mediciones durante el periodo de evaluación; la toma de la lectura fue hecha en la parte central de una hoja madura completamente expandida. Se registraron los datos

entre las 11:00 y 13:00 horas, en 6 plantas por tratamiento los días 25 de febrero, 27 de marzo, 22 de abril y 21 de mayo. La tasa fotosintética (TF) se registró en  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , la tasa transpiratoria en  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , y la conductancia estomática en  $\text{H}_2\text{O } \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . A nivel de la hoja, la eficiencia en el uso del agua (EUA) se estimó con las mediciones de intercambio de gases y fue calculada como la proporción de la tasa de asimilación de carbono entre la tasa transpiratoria (TF/TT).

### **3.2.6 Análisis Estadístico**

Se realizó mediante el análisis de varianza con el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS versión 9.0 y prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5 % para determinar diferencias significativas entre los tratamientos.

### 3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.3.1 Tasa Fotosintética (TF)

En el Cuadro 1 se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de Fotosíntesis Neta (Asimilación de CO<sub>2</sub>) para las siete variedades estudiadas. Las mediciones coinciden con producción de frutos y floración, los resultados muestran que para las cuatro fechas respectivamente no existe diferencia significativa entre ellas y tampoco entre las variedades (Cuadro 1 y Cuadro A1). Aunque no existe diferencia significativa entre las variedades cabe mencionar la variedad CP Zamorana mostró una asimilación de CO<sub>2</sub> muy desigual durante los meses respectivos, CP Jacona y Nikté son muy homogéneas durante los cuatro meses de lecturas, la selección CP LE-7 mostró una tendencia desigual, alta en el mes de febrero y disminuyó en los meses de marzo y abril, pero para el mes de mayo la TF fue en incremento. Para las variedades Festival, Pakal y la selección CP 06-15 en el mes de febrero tienen un promedio igual en las TF; con el paso del tiempo la fotosíntesis para estas variedades fue incrementando.

La tendencia de la variedad extranjera es similar a la de las variedades y selecciones mexicanas. Cabe mencionar que la variedad Festival presenta bajas tasas de asimilación de CO<sub>2</sub> en el mes de febrero, posteriormente tuvo un ligero aumento de asimilación (Cuadro 1). Así en general, las tasas de asimilación de CO<sub>2</sub> con las distintas fechas, variedades y selecciones son estadísticamente iguales.

Los valores promedio de la tasa fotosintética (TF) que se obtuvieron en las cuatro mediciones (Cuadro 1) que se llevaron a cabo de febrero a mayo de 2014, indican TF siempre inferiores a 15  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Los valores medios de TF estuvieron entre un mínimo de 8.3 y un máximo de 14.6  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Cuadros 1, 2, 3 y 4), las cuales son tasas de asimilación de CO<sub>2</sub> relativamente bajas en relación a las tasas fotosintéticas de 15 a 25  $\mu\text{moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  reportadas por Hancock *et al.* (1989) en cultivos de fresa *Fragaria x ananassa* Duch en condiciones de campo.

Definitivamente las condiciones de baja y variable luminosidad deben ser la causa de las bajas tasas fotosintéticas referidas.

**Cuadro 1.** Comparación de la Tasa Fotosintética de CO<sub>2</sub> (TF,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), de siete variedades de fresa durante cuatro muestreos realizados en Montecillo, Edo. de México.

Variedad	Fecha de evaluación (TF)			
	25/02/2014	27/03/2014	22/04/2014	21/05/2014
Zamorana	10.03 a	11.68 a	10.19 a	13.34 a
Jacona	10.79 a	10.94 a	11.91 a	12.98 a
Pakal	8.31 a	10.18 a	11.74 a	12.48 a
Nikté	11.87 a	11.46 a	11.91 a	13.62 a
CP LE-7	9.32 a	8.70 a	8.70 a	12.73 a
CP 06-15	8.38 a	8.59 a	10.70 a	14.59 a
Festival	8.47 a	10.96 a	11.81 a	11.96 a

Los datos son el promedio de mediciones en seis plantas (n = 6). Las distintas letras dentro de cada columna denotan diferencias significativas mediante la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Las mediciones fueron tomadas con un rango de temperatura del aire de 25 a 34°C con una intensidad de luz de la cámara en un rango de 104.9 a 1180.6  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

En cuanto a transpiración, conductancia estomática, tasa fotosintética y eficiencia en el uso del agua, los resultados no mostraron mucha variación durante el periodo de estudio. Los Cuadros 1, 2, 3, y 4 muestran las mediciones durante el tiempo de estudio del experimento, esto puede ser debido a similitud de las condiciones ambientales del invernadero (temperatura, humedad relativa y radiación

fotosintéticamente activa), como también hábitos de crecimiento de las distintas variedades en relación a la etapa fenológica de la planta.

La tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> es significativamente afectada por varios factores ambientales, incluyendo el nivel de luz, temperatura, disponibilidad de nutrientes, concentración de CO<sub>2</sub>, estado de desarrollo, cultivo o cultivar y método de propagación (Dale y Luby, 1990).

### **3.3.2 Tasa Transpiratoria (TT)**

La transpiración “es un mal necesario”, ya que los estomas se abren en presencia del estímulo luminoso, para absorber el CO<sub>2</sub> requerido en la fotosíntesis; aunque el balance hídrico se altere, al escaparse el agua de la planta (Caird, *et al.*, 2007). Existen muchos factores que afectan la pérdida de agua en las plantas, los más importantes son los factores ambientales que afectan directamente la presión de vapor del agua en la hoja (Anderson, 1982). Los resultados muestran tendencias muy similares en los periodos de evaluación (Cuadro 2) y estadísticamente existe diferencia significativa entre las variedades en la medición del mes de febrero. Para el 25 de febrero, las variedades Zamorana y Pakal y la selección CP LE-7 se muestran con valores significativamente más altos que la variedad comercial Festival.

La pérdida de agua de las plantas por transpiración es a través de los estomas en las hojas. Su apertura comienza al amanecer y el cierre ocurre a atardecer de cada día, de tal manera que la mayor pérdida de agua en los frutales sucede durante el día (Díaz, 2002). Conforme aumenta la radiación solar y temperatura del aire, aumenta la transpiración dado que los estomas son fotosensibles y porque se incrementa el déficit de presión de vapor de aire, esto siempre y cuando las plantas no se encuentren bajo estrés hídrico (Bidwell, 2002). La transpiración es una variable de gran interés con respecto al rendimiento de los cultivos, ya que el flujo de agua a través de la planta inducido por la transpiración, provee un buen sistema de transporte para los minerales, que son absorbidos por las raíces y que se mueven en la corriente transpiratoria (Caird, *et al.*, 2007).

**Cuadro 2.** Comparación de la Tasa Transpiratoria (TT,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), de siete variedades de fresa durante cuatro muestreos realizados en Montecillo, Edo. de México.

Variedad	Fecha de evaluación (TT)			
	25/02/2014	27/03/2014	22/04/2014	21/05/2014
Zamorana	5.94 a	4.74 a	3.83 a	7.28 a
Jacona	5.56 ab	5.30 a	4.53 a	6.25 a
Pakal	5.62 a	4.85 a	5.09 a	5.97 a
Nikté	5.55 ab	5.04 a	5.07 a	6.60 a
CP LE-7	5.84 a	4.72 a	4.36 a	6.64 a
CP 06-15	4.91 ab	4.31 a	5.38 a	6.02 a
Festival	4.32 b	4.82 a	4.35 a	6.38 a

Los datos son el promedio de mediciones en seis plantas ( $n = 6$ ). Las distintas letras dentro de cada columna denotan diferencias significativas mediante la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Las muestras fueron tomadas con un rango de temperatura del aire de la muestra de 25 a 34°C con una intensidad de luz de la cámara en un rango de 104.9 a 1180.6  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

### 3.3.3 Conductancia Estomática (CE)

De manera similar a los resultados obtenidos para la transpiración, teniendo variación únicamente el 25 de febrero en la variedad festival, y debido a la estrecha relación de ésta con la conductancia estomática, en el Cuadro 3 se presentan los valores obtenidos para esta variable fisiológica con tendencia muy parecida a lo descrito en la TT de las siete variedades de fresa cultivadas. Los resultados muestran que se presentan diferencias significativas entre las variedades en la lectura tomada el día 25 de febrero (Cuadro 3 y Cuadro A1). Para las tres lecturas posteriores no existe diferencia significativa entre ellas. Los valores más altos se obtuvieron en las variedades Zamorana, Jacona y LE-7 (0.27, 0.25 y 0.27  $\mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente en la primera evaluación, significativa y estadísticamente superiores al valor más bajo (0.18  $\mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) que se presentó en la variedad comercial Festival (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Comparación de la Conductancia Estomática (CE,  $\mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), de siete variedades de fresa durante cuatro muestreos realizados en Montecillo, Edo. de México.

Variedad	Fecha de evaluación (CE)			
	25/02/2014	27/03/2014	22/04/2014	21/05/2014
Zamorana	0.27 a	0.16 a	0.11 a	0.24 a
Jacona	0.25 a	0.17 a	0.16 a	0.21 a
Pakal	0.23 ab	0.16 a	0.18 a	0.19 a
Nikté	0.21ab	0.15 a	0.19 a	0.19 a
CP LE-7	0.27a	0.16 a	0.16 a	0.22 a
CP 06-15	0.21ab	0.13 a	0.21 a	0.21 a
Festival	0.18 b	0.15 a	0.16 a	0.19 a

Los datos son el promedio de mediciones en seis plantas ( $n = 6$ ). Las distintas letras dentro de cada columna denotan diferencias significativas mediante la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Las muestras fueron tomadas con un rango de temperatura del aire de la muestra de 25 a 34°C con una intensidad de luz de la cámara en un rango de 104.9 a 1180.6  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Los estomas se cierran frecuentemente en respuesta a la sequía antes de cualquier cambio en el potencial hídrico de la hoja, lo cual tiene un efecto importante en la productividad y rendimiento de las plantas cultivadas puesto que al cerrarse los estomas, la planta deja de fotosintetizar y por consiguiente se limita un proceso clave para la producción como la fotosíntesis (Medrano, *et al.*, 2002). La conductancia estomática regula a la vez las pérdidas de vapor de agua y el ingreso de  $\text{CO}_2$ , por lo que su función es no solamente minimizar la transpiración, sino también maximizar la fotosíntesis. La apertura de los estomas es controlado por la conformación de dos

células guardas que rodean un poro, estas células son generalmente mancuernas en forma de riñón y generalmente poseen cloroplastos (Nobel, 2009). Gil (1995) encontró que las temperaturas elevadas (30-35 °C), en general provocan el cierre de los estomas y esto puede deberse a una respuesta indirecta al estrés hídrico, o a un aumento en la tasa respiratoria que puede provocar un incremento en el CO<sub>2</sub> en el interior de la hoja. Cuando hubo diferencia significativa entre variedades, los niveles más altos de esta variable se presentaron en las variedades mexicanas. La conductancia estomática en las plantas con fotosíntesis C3 están expuestas a fluctuaciones periódicas en diferencia de vapor de agua en las hojas, esto representa una amenaza de deshidratación por la transpiración (Franks y Farquhar, 1999).

### **3.3.4 Eficiencia en el uso del Agua (EUA)**

Los resultados obtenidos sobre la eficiencia en el uso del agua (EUA), son variables, los valores altos se intercalan en distintos periodos de evaluación, por lo que no hay un patrón claro en el comportamiento de esta variable. Existen diferencias significativas en los periodos evaluados del 25 de febrero entre las variedades Pakal y Nikté y el 22 de abril entre la selección CP 06-15 y la variedad festival, para las fechas evaluadas del 27 de marzo y 21 de mayo, los resultados demuestran que estadísticamente no hay diferencia significativa entre las variedades (Cuadro 4.) Al respecto Medrano *et al.*, (2007) menciona que los estomas establecen un control fino sobre el gasto de agua, control que experimenta amplias variaciones a lo largo del día en función de la cantidad de luz y de otras variables ambientales, pero sobretodo en función de la disponibilidad de agua en las hojas. Junto a estas variables, el estoma también depende de la actividad fotosintética, que en condiciones limitantes (a causa de la falta de luz, temperaturas bajas o infecciones) provoca el cierre estomático independientemente de la disponibilidad hídrica.

**Cuadro 4.** Comparación de Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) de siete variedades de fresa durante cuatro muestreos realizados en Montecillo, Edo. de México.

Variedad	Fecha de evaluación (EUA)			
	25/02/2014	27/03/2014	22/04/2014	21/05/2014
Zamorana	1.71 ab	2.54 a	2.63 ab	1.84 a
Jacona	1.97 ab	2.18 a	2.65 ab	2.17 a
Pakal	1.45 b	2.07 a	2.36 ab	2.29 a
Nikté	2.12 a	2.30 a	2.41 ab	2.09 a
CP LE-7	1.60 ab	1.89 a	2.09 ab	1.93 a
CP 06-15	1.72 ab	2.11 a	2.00 b	2.45 a
Festival	1.94 ab	2.29 a	2.77 a	1.89 a

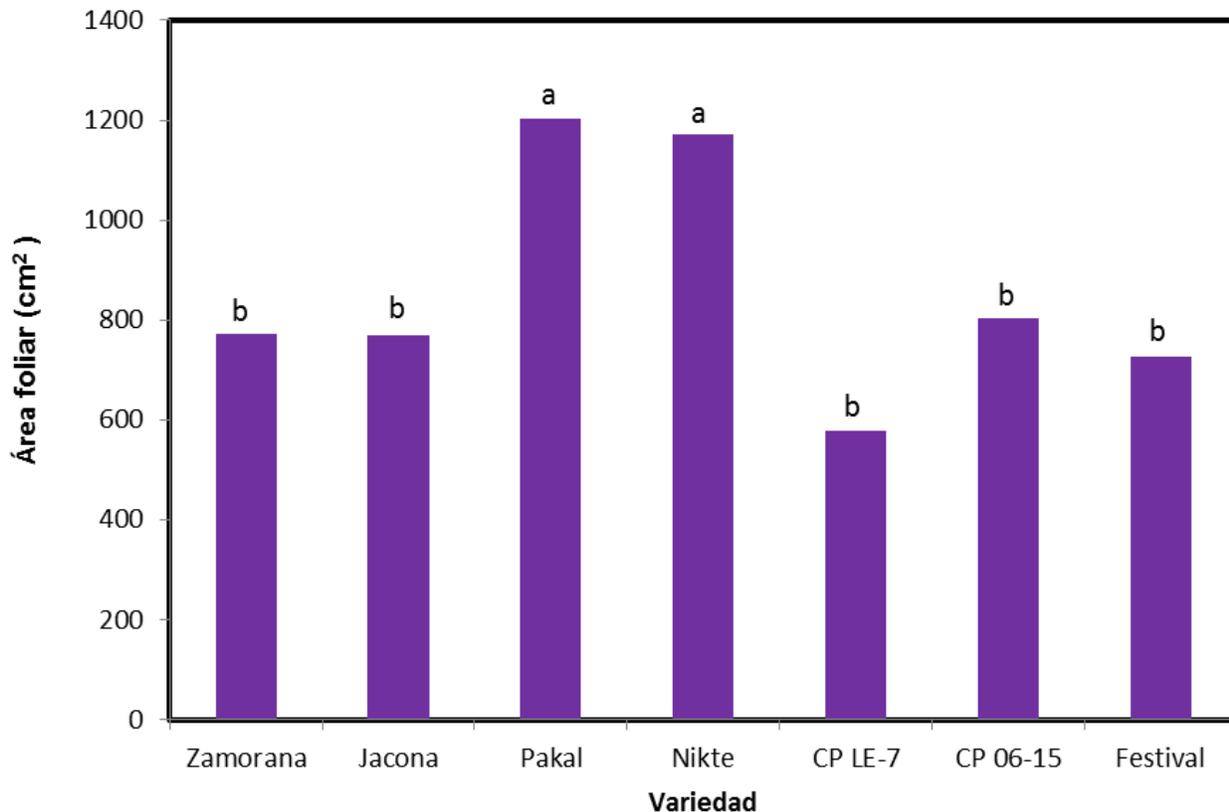
Los datos son el promedio de mediciones en seis plantas (n = 6). Las distintas letras dentro de cada columna denotan diferencias significativas mediante la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Las muestras fueron tomadas con un rango de temperatura del aire de la muestra de 25 a 34°C con una intensidad de luz de la cámara en un rango de 104.9 a 1180.6  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

### 3.3.5 Área foliar

Como se observa en la Figura 1, la variedad Pakal presenta mayor superficie foliar con una media de 1202.5 cm<sup>2</sup>, seguida por la variedad Nikté con 1170.6 cm<sup>2</sup>, las dos significativamente diferentes ( $P < .0001$ ) (Cuadro A2) al resto de las variedades y selecciones mexicanas y la variedad extranjera. Farías (2002) menciona que el incremento del rendimiento está ligado a cambios en la fijación de bióxido de carbono por unidad de área foliar del cultivo y a la distribución de los fotosintatos entre los

órganos de la planta, lo que resalta la importancia de un tamaño mayor del aparato fotosintético sin llegar a ser excesivo.

Las variedades mexicanas generadas por el INIFAP (Nikté y Pakal) se muestran entonces con un mayor crecimiento foliar en comparación con el resto de los genotipos, en donde la variedad comercial Festival (con una media de 725.4 cm<sup>2</sup>) no es diferente de Zamorana (772.5 cm<sup>2</sup>), Jacona (768.9 cm<sup>2</sup>), CP 06-15 (804.7 cm<sup>2</sup>) ni CP LE-7 (578.1 cm<sup>2</sup>) (Figura 1).



**Figura 1.** Producción de área foliar de siete variedades de fresa cultivadas en invernadero. Los datos son el promedio ( $n = 6$ ). Se realizaron siete muestreos los días 20 de Noviembre, seis de diciembre del 2013, nueve de enero, seis de febrero, seis de marzo, siete de abril y 15 de julio del 2014. Las letras distintas entre variedades indican la diferencia significativa mediante la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ )

Strassburger *et al* (2011) menciona que el área foliar promedio observada por planta es de 492.4 cm<sup>2</sup> para el cultivar Camino Real. Se han realizado pocos estudios sobre la relación entre la producción de frutas y expansión de área foliar en plantas de fresa y los resultados que están disponibles muestran una relación variable. Algunos informes indican una correlación positiva para toda la temporada (Rosa *et al.*, 2013); una correlación positiva por parte de la temporada (Strik y Proctor 1988a, 1988b) o ninguna correlación (Fernández *et al.*, 2001). La cantidad de luz absorbida por una hoja y la vía de difusión de CO<sub>2</sub> a través de sus tejidos depende en parte de qué tan grueso es (Vile *et al.*, 2005).

### **3.3.6 Producción total y distribución de material seco**

En la (Figura 2) se presentan los resultados obtenidos para la variable de producción y distribución de materia seca de las variedades estudiadas. La variedad Nikté es la que presenta la mayor tasa de producción de materia seca, seguida por las variedades Jacona y Pakal. La variedad comercial extranjera Festival se encuentra en el quinto lugar con valores muy similares de producción de materia seca de la variedad Zamorana y la selección CP LE-7; la selección que presenta menores tasas de producción es CP 06-15.

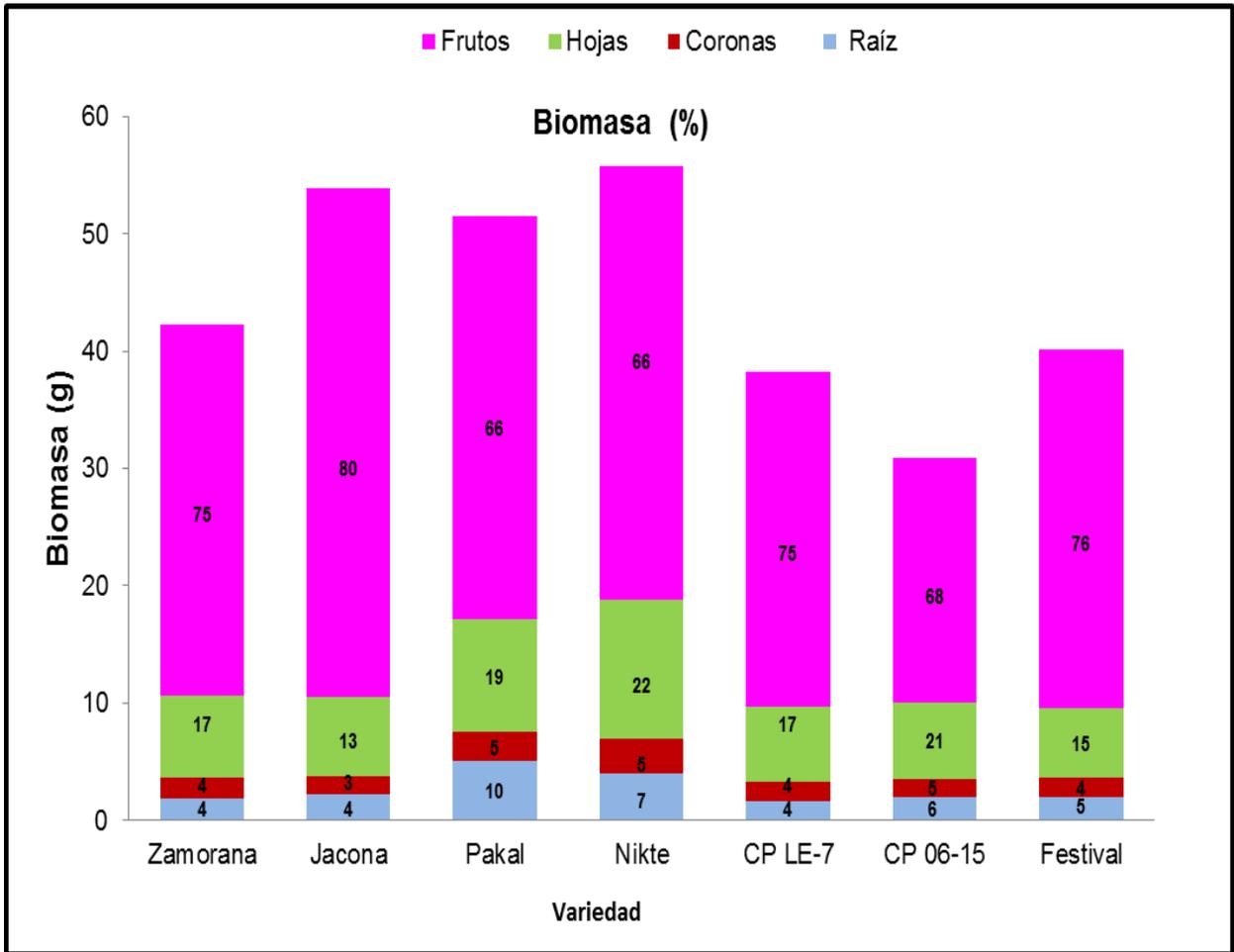
### **Biomasa en Frutos**

En la proporción de la biomasa acumulada en los frutos del total de la planta, esto es el Índice de Cosecha (IC), destaca la variedad Jacona, con el 80% de la biomasa total hacia frutos, lo cual es significativamente superior al 66% tanto en Nikté como en Pakal (Figura 2 y Cuadro 5). Mientras que la variedad Festival aportó 76% de su biomasa a fruto, y la variedad Zamorana y la selección CP LE-7 presentan 5% menos que la variedad Jacona, y aun cuando la selección CP 06-15 tuvo 12% menos

que la variedad líder en producción, son estadísticamente iguales (Cuadro 5 y Figura 2).

Aun cuando Las variedades y Nikté y Pakal produjeron las mayores cantidades de biomasa total, sus índices de cosecha (66%) representan 14% menos que la variedad Jacona (80%) (Figura 2). En este caso, Nikté y Pakal pierden eficiencia en la partición de materia seca a fruto por que acumulan más materia seca en hojas, lo cual es muy claro en la Figura 2.

Con fines productivos y de eficiencia fisiológica, es importante indicar que es deseable que un cultivo, primero, tenga un alto potencial de producción y acumulación de biomasa, y, segundo, que un elevado porcentaje de esa biomasa se acumule en fruto; es decir, que tenga un alto índice de cosecha (IC). En este caso, aunque la mayoría d los genotipos estudiados resultaron con elevados índices de cosecha (todos mayores de 66%), algunas variedades tuvieron baja producción de biomasa total y entonces aunque su IC resulta relativamente elevado, en términos netos producen menos fruta. Este puede ser el caso de las selecciones CP LE-7 y CP 06-15 que aunque tienen altos IC (75 y 68%, respectivamente), tuvieron la menor producción de biomasa, y eso representa que sean los menos productivos en términos netos en gramos de fruto por planta (Figura 2).



**Figura 2.** Producción total de biomasa y su distribución en frutos, hojas, coronas y raíz en siete variedades de fresa cultivadas en invernadero ( $n = 6$ )

### **Biomasa en Hojas**

La acumulación de biomasa en hojas es mayor en la variedad Nikté con un 22%, seguida por la selección CP 06-15 y luego 'Pakal' con 19% de biomasa a hojas. La variedad Zamorana y la selección CP LE-7 presentan 5% menos que el valor mayor de Nikté. La variedad testigo, Festival, tiene 7% menos que la variedad Nikté biomasa en el follaje. Interesante resulta observar a la variedad Jacona que presenta menor porcentaje en acumulación de biomasa en hojas pero presenta una elevada acumulación de biomasa total y el mayor IC con 80% hacia fruto, lo cual la hace ver como el genotipo más eficiente en estos términos (Figura 2).

### **Biomasa en Coronas**

La acumulación de biomasa en las coronas o tallos varió de 3 a 5% en todas las variedades y selecciones estudiados (Figura 2).

### **Biomasa en Raíz**

La acumulación de materia seca en raíz, presenta diferencias significativas entre las variedades, Pakal y Nikté son significativamente diferentes al resto. Con un 10 %, 'Pakal' y Nikté con un 7 % presentan significativamente mayor acumulación en raíz (Cuadro 5 y Figura 2). El resto de los materiales acumularon entre 4 y 6% de su biomasa en los tallos (Figura 2). Estos resultados, y los discutidos anteriormente en relación a los otros órganos, pueden indicar que las variedades Nikté y Pakal son variedades vigorosas con un elevado potencial de crecimiento vegetativo; por lo cual, es importante definir sus necesidades nutrimentales a fin de que la partición de su alta producción de biomasa se presente de manera más eficiente; por ejemplo, se puede moderar la fertilización nitrogenada buscando evitar excesiva acumulación de materia seca en hojas y probablemente así se asigne más materia seca a frutos aumentando así su IC.

Es importante considerar que los factores climáticos pueden influir en la distribución a corto plazo de fotoasimilados, como consecuencia de la respuesta de la fuerza de demanda de los órganos a los cambios de las condiciones externas, y, que también a largo plazo, a través del efecto que ejercen sobre el número de órganos demanda que crecen en la planta (Peil y Galvez, 2005). La eficiencia en el control de la partición de carbono asimilado es crucial para la productividad de una planta, el control de la partición de carbono es el resultado de varios factores actuando a nivel celular, hoja o sistema, los cuales están afectando la demanda de carbono en los diferentes órganos (Pessarakli, 1997).

Como se puede apreciar, las variedades nacionales, como Nikté, Jacona, Pakal y Zamorana se muestran como más eficientes en la partición de materia seca (carbono) en términos totales que la variedad comercial extranjera 'Festival' y los cultivares que son menos eficientes para esta variable son las selecciones CP LE-7 y CP 06-15. Portela *et al.*, (2012) menciona que con mayor densidad de plantación se obtiene un mayor índice de área foliar, mayor masa seca total y frutos, el aumento de la productividad, lo que resulta en un mayor número de frutos cosechados por unidad de superficie cultivada.

La respuesta fotosintética y respiratoria determinan la cantidad de carbono disponible para el crecimiento de los diferentes órganos componentes de las plantas, el rendimiento real del fruto depende de la partición de ese carbono hacia sus componentes; y esa partición es afectada en gran medida por las prácticas de manejo y factores ambientales, principalmente la temperatura (García y Guardiola, 2003). Como se puede apreciar (Cuadro 5) los mayores porcentajes de materia seca se concentra en el fruto, con un promedio de 72.30%.

**Cuadro 5.** Porcentajes de Materia Seca de planta completa de siete variedades de fresa cultivada en invernadero, en Montecillo, Edo. de México. Muestreos realizados de Noviembre y Diciembre 2013, Enero, Febrero, Marzo, Abril y Julio del 2014.

<b>Variedad</b>	<b>Raíz %</b>	<b>Coronas %</b>	<b>Hojas %</b>	<b>Fruto %</b>
<b>Zamorana</b>	4.4 b	4.2 c	17.3 bc	74.8 ab
<b>Jacona</b>	4.0 b	3.0 c	13.1 c	80.4 a
<b>Pakal</b>	9.8 a	4.8 ab	18.6 ab	66.6 b
<b>Nikté</b>	7.2 a	5.1 a	22.0 a	66.1 b
<b>CP LE-7</b>	4.2 b	4.3 c	16.8 bc	75.0 ab
<b>CP 06-15</b>	6.3 b	5.0 a	21.1 ab	68.3 ab
<b>Festival</b>	4.9 b	4.2 c	14.9 c	76.1 ab

Los datos son el promedio de mediciones en 30 plantas (n = 30). Las distintas letras dentro de cada columna denotan diferencias significativas mediante la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

La mayor acumulación de materia seca en todas las variedades de fresa evaluadas, corresponden al fruto con valores de entre 66.1 y 80.4%, seguida por las hojas. Por su parte, la proporción de materia seca repartida en la hoja para todas las variedades vario de 13.1 a 22.0 %. La variedad Jacona muestra que con un 13.1% de su materia seca total acumulada en hojas, tuvo la mayor asignación de materia seca en frutos (80.4%), lo cual indica que puede ser una planta más eficiente puesto que además de asignar un porcentaje bajo en hojas, presentó un porcentaje alto en frutos. Por su parte se comprueba que la variedad Nikté, como lo dice en su descripción, posee una fuerte tendencia a adquirir un gran porte ya que tuvo la mayor materia seca en hojas (22.0%) (Cuadro 5).

En lo que refiere a la partición de materia seca en la corona todas las variedades acumularon la menor proporción en esta estructura los valores se encuentran entre 3 y 5.1%. El menor valor fue para la variedad mexicana Jacona. En el caso de la raíz se

aprecia que presenta mayor porcentaje la variedad Pakal con 9.8% y la que presenta menores porcentajes es la variedad Jacona con 4% (Cuadro 5). Menzel y Smith (2014). Encontraron al final de la temporada de crecimiento del cultivo de fresa, el 37% de las zonas secas fue asignado a las hojas, el 15% asignado a las coronas y el 8% asignados a las raíces.

El índice de cosecha (IC) es la proporción de materia seca que se acumula en el órgano de mayor interés, en este caso el fruto, en relación a la biomasa total. Al final, se puede indicar que el índice de cosecha de las variedades y selecciones son las siguientes, Jacona 0.80, Zamorana 0.74, Pakal 0.66, Nikté 0.66, CP LE-7 0.75, CP 06-15 0.68 y Festival 0.76. Es apreciable entonces que las algunas variedades mexicanas muestran valores inferiores que la variedad comercial Festival. La partición de materia seca es un indicador de la distribución de carbono (fotoasimilados) hacia los distintos puntos de demanda en crecimiento, por lo que puede considerarse como un parámetro muy importante en la determinación de la productividad (García y Guardiola, 2003). Pérez de Camacaro *et al.* (2002) estudiaron la productividad de tres cultivares de fresa en el Reino Unido y encontró que los altos rendimientos se asocian con altas tasas de crecimiento vegetativo temprano en la temporada, una temporada de cultivo extendido y un alto índice de cosecha.

### **3.4 CONCLUSIONES**

Los cultivares mexicanos y la variedad extranjera mostraron resultados similares en los procesos de intercambio de gases; las tasas fotosintéticas son iguales.

Para la transpiración y conductancia estomática la fecha en las que hubo variación fue en el mes de febrero del 2014, mostrando mayor transpiración las variedades CP Zamorana, Pakal y CP LE-7, para conductancia estomática la selección CP LE-7 y las variedades CP Zamorana y CP Jacona, para ambas variables Festival presenta menores valores. En el caso de EUA las variedades mexicanas y la variedad extranjera poseen resultados similares en las distintas fechas de medición.

Las variedades mexicanas Nikté y Pakal y son variedades con un alto potencial de crecimiento.

Por su gran potencial de crecimiento y elevado índice de cosecha (producción de biomasa en fruto), la variedad mexicana CP-Jacona representa la alternativa fisiológicamente más eficiente.

Las variedades CP Jacona y CP Zamorana y la selección CP LE-7 poseen capacidad de adaptación a las condiciones ambientales del lugar de estudio ya que tienen alta capacidad de producción y acumulación de materia seca y su elevado índice de cosecha.

### 3.5 LITERATURA CITADA

- Anderson, J., E. 1982. Factors controlling transpiration and photosynthesis. *J Ecol* 63:48-56
- Ayala G., O. J. 1995. Estudio micrometeorológico del cultivo de Trigo (*Triticum aestivum* L). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 84 p.
- Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill-Interamericana de España. 581p.
- Barrera, C. G.; Sánchez, B. C. 2003. Caracterización de la Cadena Agroalimentaria/Agroindustrial Nacional, identificación de sus demandas tecnológicas: Fresa. Morelia, Michoacán. México. 79 p.
- Bidwell, R.G.S. 2002. Fisiología Vegetal. AGT editor. S.A. México, D.F. 784 p.
- Caird, A., M. Richards, H. J. and Donovan, A., L. 2007. Nighttime Stomatal Conductance and Transpiration in C3 and c4 Plants. *Plant Physiology*. Vol. 143, 4-1, .pp
- Coombs, J., D.O Hall, S. P. Long, y J. M O. Scurlock. (Editores). 1988. Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. UNEP-Colegio de Postgraduados Ed. Futura. Texcoco, Edo. De México. México. 258 p.
- Díaz M., D.H. 2002. Fisiología de árboles frutales. 1<sup>a</sup> ed. AGT editor, S.A. México. 390 p.
- Estrada, N.C. 2011. Cauterización fisiológica y productiva de dos variedades mexicanas de fresa (*Fragaria x ananassa*) para el subtrópico. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Tex. México.
- Farías A.J.R.2002. Claridades agropecuarias. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México, D.F.
- Fernandez GE, Butler LM, Louws FJ 2001. Strawberry growth and development in an annual plasticulture system. *HortScience* 36: 1219–1223.
- Franks, P. J and Farquhar, G, D. 1999. A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C3 plants. *Plan, Cell and Environment*. Vol. 22, 1337-1349.
- Fukuda, N.; Fujitan, M.; Ohta, Y.; Sase, S.; Nishimura, S.; Ezura, H. 2008. Directional blue light irradiation triggers epidermal cell elongation of abaxial side resulting in

- inhibition of leaf epinasty in geranium under red light condition. *Sci. Hort.* 115:176-182.
- García L.A y J. L. Guardiola. 2003. Transporte en el floema En: Azcón-Bieto J. y Talón M. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGRAW-HILL. 3ª reimpresión. Barcelona, España. 65-82.
- Genard, M., Dauzat, J., Franck, N., Lescourret, F., Moitrier, N., Vaast, P., Vercambre, G., 2008. Carbon allocation in fruit trees: from theory to modelling. *Trees* 22, 269–282
- Gil, M. F. 1995. *Elementos de Fisiología Vegetal: Relaciones Hídricas, Nutrición Mineral, Transporte, Metabolismo*. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España.
- Hancock, J.F., J. A. Flore, and G. J. Galletta. 1989. Gas exchange properties of strawberry species and their hybrids. *Scientia Hort.* 40: 139-144.
- Hancock JF 2008. *Fragaria × ananassa* strawberry. In: Janick J, Paull RE eds. *The encyclopedia of fruit & nuts*. Wallingford, CABI. Pp. 651 – 661.
- Ho, L. C.; Grange, R. I.; Shaw, A. F. 1989. Source/sink regulation. In: *Transport of Photoassimilates*. D. A. Baker (Ed.). Logman Scientific & Tecnical. Essex, England. pp: 306-343.
- Jiao, Y.; Lau, O.S.; Deng, X.W. 2007. Light-regulated transcriptional networks in higher plants. *Nat. Rev. Genet.* 8:217-230.
- Kuehl, R.O. 2001. *Diseño de experimentos. Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones*. 2ª Edición. Thomson Matemáticas. 666 p.
- Medrano, H., Escalona, J., M., Bota, J., Gulias, J., and Flexas, J. 2002. Regulation of Photosynthesis of C<sub>3</sub> Plants in Response to Progressive Drought Stomatal Conductance as a Reference Parameter. *Annals of Botany*. Vol. 89: 895-905 p.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbo, M. y Gulias, J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*. 43:63-84 p.
- Menzel, M.C y L. Smith. 2014. The growth and productivity of 'Festival' strawberry plants growing in a subtropical environment, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 42:1, 60-75.
- Nobel P. S. 2009. *Physicochemical and environmental plant Physiology*. Fourth edition. Academic Press is an imprint of Elsevier. 371p.

- Peil, R. M. y J. L. Galvez. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasileira de Agrociencia* 11:05-11.
- Pérez, E. y U. Carril. 2009. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. Serie Fisiología Vegetal. *Reduca (Biología)*. 2(3): 1-47.
- Pérez de Camacaro ME, Camacaro GJ, Hadley P, Battey NH, Carew JG 2002. Pattern of growth and development of the strawberry cultivars Elsanta, Bolero, and Everest. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127: 901– 907
- Pessaraki M. 1997. *Handbook of photosynthesis*. Ed. Marcel Dekker, INC. New York. 1027p.
- Portela I.P., Nogueira. P.R., Rodriguez S. y Carini F. 2012. Densidade de plantio, crescimento, produtividade e qualidade das frutas de Morangueiro "Camino Real" em hidroponia. *Rev. Bras.Frútic.*, Jaboticabal-SP, v. 34-3 792-798.
- Rosa HT, Streck NA, Walter LC, Andriolo JL, Rocha daSilva M 2013. Vegetative growth and production of two strawberry cultivars for different planting times in a subtropical environment. *Revista Ciencia Agronomica* 44: 604–613.
- Strassburger, A.S.; Peil, R.M.n.; Scwengber, J.E.; Medeiros, C.A.b.; MartinS, D.S. 2011. Crecimiento do morangueiro: influência da cultivar e da posição da planta no canteiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.41,n.2,p.223-226.
- Strik BC, Proctor JTA 1988a. Growth analysis of field- grown strawberry genotypes differing in yield: II. The hill system. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 113: 899 – 904.
- Strik BC, Proctor JTA 1988b. The importance of growth during flower bud differentiation to maximizing yield in strawberry genotypes. *Plant Varieties Journal* 42: 45–48.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. Sinauer Associates. 3ra edition Language: English. Pp.111-172.
- Vile D, Garnier E, Shipley B, Laurent G, Navas ML, Roumet C, *et al.* 2005. Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. *Annals of Botany* 96: 1129–1136.

### 3.6 APÉNDICE

**Cuadro A1.** Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV), coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), prueba de significancia del modelo (Pr>F) y grados de libertad (GL). Para Tasa Fotosintética, Tasa Transpiratoria y Conductancia Estomática.

Fecha	Variable	CME	CV	R <sup>2</sup>	Pr>F	GL
	Tasa Fotosintética	10.5878813	33.89643	0.220847	0.6633	30
25 Feb	Tasa Transpiratoria	1.22546761	20.51192	0.312895	0.3039	30
	Conductancia Estomática	0.00287294	22.57658	0.373051	0.1426	30
	Tasa Fotosintética	4.7574952	21.04678	0.430781	0.0569	30
27 Mar	Tasa Transpiratoria	1.38699017	24.38449	0.138954	0.9246	30
	Conductancia Estomática	0.00222375	29.52044	0.212578	0.6962	30
	Tasa Fotosintética	6.8153950	23.68212	0.3081105	0.3200	30
22 Abr	Tasa Transpiratoria	0.93499506	20.72938	0.491571	0.0173	30
	Conductancia Estomática	0.00282395	30.78915	0.523054	0.083	30
	Tasa Fotosintética	7.0777449	20.30240	0.216161	0.6820	30
21 May	Tasa Transpiratoria	1.35385297	10.03234	0.364309	0.1612	30
	Conductancia Estomática	0.00234064	22.66117	0.272793	0.4511	30

**Cuadro A2.** Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV), coeficiente de determinación ( $R^2$ ), prueba de significancia del modelo ( $Pr>F$ ) y grados de libertad (GL). Para Área foliar y Eficiencia en el uso del agua.

Variable	CME	CV	$R^2$	Pr>F	GL
Área foliar	149105.5	44.92458	0.712753	<.0001	159
Eficiencia en el Uso del Agua	0.2341088	24.52183	0.468553	0.0352	35

**Cuadro A3.** Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV), coeficiente de determinación ( $R^2$ ), prueba de significancia del modelo ( $Pr>F$ ) y grados de libertad (GL). Para Biomasa seca de las estructuras de la planta, hojas, corona, raíz y frutos.

Biomasa Seca	CME	CV	$R^2$	Pr>F	GL
Peso seco de Hojas	17.7011	54.51125	0.656712	<.0001	158
Peso seco de Corona	0.942810	49.63054	0.696833	<.0001	158
Peso seco de Raíz	5.294807	85.62527	0.504650	<.0001	158
Peso seco de Frutos	4.446006	72.08487	0.400891	<.0039	129

## CAPÍTULO IV. CRECIMIENTO, CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRUTO DE VARIEDADES MEXICANAS DE FRESA

### RESUMEN

La capacidad de crecimiento y de producción, al igual que la calidad de fruto son dependientes del potencial genético de las variedades. El presente trabajo se realizó con la finalidad de comparar el crecimiento, capacidad de producción, características de calidad cuantificables del fruto de siete variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) (seis genotipos generados en México y 'Festival' como variedad comercial). Las plantas estuvieron creciendo en macetas de plástico establecidas en un invernadero de vidrio en el Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Edo., México. Se empleó un diseño completamente al azar con seis repeticiones por variedad. Una vez que las plantas alcanzaron la etapa de producción, se realizó el conteo de los días de anthesis a cosecha de frutos (PDF) y se evaluó la dinámica de crecimiento del fruto (diámetro ecuatorial ) y peso de frutos. Para la evaluación de la calidad de fruto se consideraron los siguientes aspectos: peso, color, firmeza (Nt), sólidos solubles Totales (°Bx), Acidez Titulable (AT). La variedad CP Jacona y la selección CP LE-7 producen frutos de mayor tamaño. Las variedades CP LE-7, Jacona y Nikté presentaron un periodo de desarrollo de fruto (30 días) más largo que Zamorana, Pakal y Festival (27 días). Las variedades CP-Zamorana, CP-Jacona y Pakal son una alternativa en cuanto a precocidad ya que se mostraron más productivas al inicio que 'Festival'. La variedad mexicana CP Jacona es significativamente más productiva que la selección CP 06-15 pero estadísticamente igual al resto. Todos los materiales generados en México presentan atributos de calidad de fruta y rendimientos similares a la variedad comercial Festival (sobresale en rendimiento 'CP Jacona' y CP LE-7 en calidad de fruto) por lo que podrían ser considerados altamente competitivos para ser cultivados en México, previa validación comercial en condiciones de campo en las áreas productoras.

**Palabras Clave:** *Fragaria x ananassa* Duch., nuevas variedades, producción, calidad de fruto, frutillas

## FRUIT GROWTH, YIELD AND FRUIT QUALITY OF MEXICAN STRAWBERRY VARIETIES

### ABSTRACT

Fruit growth capacity and fruit yield and quality are characteristics dependent on genetic potential of the variety. This work was performed to compare growth, production capacity, and fruit quality characteristics of seven varieties of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) (six genotypes created in Mexico and 'Festival' as commercial cultivar). Potted plants were grown into a glass greenhouse at Colegio de Postgraduados in Montecillo, Texcoco, Estate of Mexico. A completely randomised design with six replications per variety was used. Once plants were yielding, the fruit development period (from flower to harvest time) was recorded and fruit growth dynamics and fruit weight were evaluated. For evaluation of fruit quality fruit weight, color, firmness (N), total soluble solids content (° Bx) and titratable acidity (TA) were measured. 'CP Jacona' and selection CP LE-7 produced the largest fruits. CP LE-7, CP-Jacona y Nikté genotypes showed longer PDF (30 days) than Zamorana, Pakal and Festival (27 days). Since 'CP-Zamorana', 'CP-Jacona' and 'Pakal' had higher fruit production early in the cycle than 'Festival', become an alternative to grow regarding production precocity. 'CP Jacona' resulted significantly more productive than the selection CP 06-15, but statistically similar to all others. Because all evaluated genotypes created in Mexico produce fruit quality and yields similar to 'Festival' ('CP-Jacona' is outstanding in yield and CP LE-7 in fruit quality), they might be considered as highly competitive to be grown in Mexico, previously validated in field conditions in the growing areas.

**Key words:** *Fragaria x ananassa* Duch, new varieties, yield, fruit quality, berries.

## 4.1 INTRODUCCIÓN

Las Berries, son pequeños frutos carnosos, que son comercialmente cultivado y consumido en formas frescas y procesadas (Seeram, 2008). Las bayas son ricas en compuestos fenólicos, como los ácidos fenólicos, taninos, estilbenos, flavonoides y antocianinas, pero bayas, en particular, han sido el foco de una investigación considerable con respecto a sus propiedades de antocianina ricos y de acuerdo con (Seeram 2008), hay muchos estudios afirman que la ingesta alimentaria de frutas de baya tiene un impacto positivo y profundo en la salud del humano.

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch), se ha convertido en una de las frutas más populares y apetecidas en el mundo, el desarrollo científico y tecnológico en la producción de la fruta han contribuido su morfología y fisiología que permiten manejarla en condiciones controladas (Gómez, 2004). La exportación de frutos de fresa es una fuente de divisas importante para México, cuyo principal estado productor es Michoacán. En México, se requieren de cultivares más económicos, más productivos y con mayor calidad de frutos (Barrera y Sánchez, 2003). El color atractivo es una característica sensorial muy importante para el consumo en fresco de frutas (Wang *et al.*, 1999., Sadilova *et al.*, 2009). La fresa es la única fruta que comienza proporcionar ingresos a los agricultores dentro de los primeros 100 días después de su plantación (Apak *et al.*, 2004, Pincemail *et al.*, 2012). El desarrollo de la planta y calidad del fruto varía con la variedad o genotipo usado (Kamperidou y Vasilakakis, 2005). Además de lo mencionado anteriormente, otro de los factores que influyen sobre la calidad de la fresa es la época de recolección (Gady *et al.*, 2006).

El momento de cosecha en términos de madurez del fruto es esencial para una calidad óptima y, a menudo para el mantenimiento de la calidad en postcosecha (Sturm *et al.*, 2003). Por todo lo anterior se pensó que los nuevos cultivares y selecciones mexicanas son más precoces, presentan mayor producción y son mucho mejores en calidad de fruto dado que fueron creadas en condiciones favorables para nuestro país. Como nuevos cultivares, es necesario determinar su potencial y calidad de los frutos para lo cual el objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad de producción y

calidad de fruto de las nuevas variedades mexicanas de fresa comparada con una variedad comercial introducida en cuanto a crecimiento, rendimiento y calidad de fruto.

## 4.2 MATERIALES Y METODOS

### 4.2.1 Localización del Experimento

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de vidrio no climatizado, ubicado en el Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Estado de México con: 19° 30´ LN, 98° 53´ LO, 2250 msnm.

### 4.2.2 Material Vegetal

Se trabajó con cuatro variedades mexicanas de fresa: CP Zamorana, CP Jacona, Nikté y Pakal, y dos selecciones avanzadas CP LE-7, CP 06-15, y la variedad extranjera comercial Festival. Las plantas provinieron de viveros establecidos en la zona de Zamora, Michoacán y en Ciudad Guzmán, Jalisco.

#### Características de las variedades y selecciones:

**CP Zamorana** altamente productiva de frutos grandes, de calidad y firmeza superior; producción precoz, con altos porcentajes de fruta con calidad de exportación; adecuada para consumo en fresco por su gran balance en sabor. Sensibilidad moderada a cenicienta (*Sphaerotheca macularis*) y mancha angular (*Xanthomonas fragariae*) (Calderón, *et al.*, 2009).

**CP Jacona** fruto grande y firme de excelente sabor, adecuado para consumo en fresco; altamente productiva con altos porcentajes de fruto con calidad de exportación; producción precoz. Limitada sensibilidad a enfermedades como cenicienta (*Sphaerotheca macularis*) y mancha angular (*Xanthomonas fragariae*) (Calderón, *et al.*, 2009).

**Nikté** es un cultivar de día corto, adaptada al ambiente de Irapuato y climas semejantes, de precocidad media y potencial de rendimiento superior a 50 t.ha<sup>-1</sup> bajo la prevalencia del complejo viral de la fresa (CVF). Destaca porque produce fruta bastante grande y uniforme durante las primeras dos floraciones, fruta de color rojo brillante, pulpa firme como la de Camino Real, con buen sabor color rojo interno y excelente vida de anaquel. En vivero tiene una capacidad de producción de planta semejante a Camino Real.

**Pakal** es un cultivar de día neutro, adaptada al ambiente de Irapuato y climas semejantes así como al ambiente del Norte de Guanajuato en plantaciones refrigeradas. En Irapuato es una variedad más precoz que 'Sweet Charlie', 'Nikté' y 'Camino Real' y por ser esta su principal ventaja, se considera una opción importante para cultivarla en macrotunel. La fruta es de menor tamaño y firmeza que la de 'Nikté' y 'Camino Real', con color externo rojo brillante, aquenios sumergidos en la pulpa y una apariencia excelente entre octubre a marzo. En vivero es buena productora de planta, aunque no iguala la capacidad de propagación vegetativa de 'Nikté' y 'Camino Real'.

**Festival** creada por la Universidad de Florida, EUA, produce frutos firmes, de color rojo profundo con excelente sabor. Esta variedad es susceptible a la antracnosis (pudrición de fruto y corona) causado por *Colletotrichum fragariae* (Stapleton *et al.*, 2001).

**CP LE-7** es una selección avanzada del Colegio de Postgraduados que se ha mostrado altamente productiva, con entrada precoz en producción al inicio del ciclo de producción otoño-invierno. Su fruto es grande y firme, de color rojo brillante y muy buen sabor. La planta es de vigor medio, menor que Festival, y con buena capacidad de producción de plantas hijas. Se muestra tan tolerante o resistente a enfermedades y plagas comunes como la variedad comercial Festival. (Información proporcionada por el Dr. Calderón Zavala Guillermo)

**CP 06-15** selección avanzada del Colegio de Postgraduados con alta capacidad de producción de fruto con calidad de exportación al inicio del ciclo productivo, muy competitiva. Produce frutos grandes de forma aplanada, firmes y de color rojo intenso, de excelente sabor. La planta es de vigor medio-alto con buena capacidad de producción de estolones. Presenta similar tolerancia o susceptibilidad que Festival y Camino Real a enfermedades como cenicilla y antracnosis, y plagas como ácaros. (Información proporcionada por el Dr. Calderón Zavala Guillermo).

#### **4.2.3 Cultivo**

Para el cultivo se emplearon bolsas de plástico negras, con capacidad de 8 litros., se llenaron con una mezcla de suelo, peatmoss y agrolita con una relación de 1:1:1. El trasplante de las variedades CP Zamorana, CP Jacona, Festival, y las selecciones CP LE-7 y CP 06-15 se realizó el día dos del mes de Septiembre del 2013 a raíz desnuda, posteriormente para el día 27 del mismo mes se realizó el trasplante de las variedades Pakal y Nikté, éstas fueron trasplantadas con cepellón provenientes de charola. Después del trasplante inmediatamente se proporcionó el riego a capacidad de campo, y a partir de ahí se regó de manera manual aplicando 500 ml de agua al día, Para el 01 de Octubre del 2013 se empezó con la aplicación de la solución nutritiva basada en la solución de Steiner al 50%, con una conductividad eléctrica (C.E) de 1 las primeras dos semanas posteriores al trasplante y el tiempo seguido se aplicó una C.E de 2. La nutrición se proporcionó con una periodicidad semanal. Los riegos se proporcionaron 3 veces al día con 3 minutos de duración cada uno; esto en el periodo de otoño e invierno, para primavera y verano se aplicaron 8 riegos por día de un minuto cada riego. Se hicieron aplicaciones de Ridomil Gold a 50 ppm (metalaxil) al riego, para evitar problemas de *Phytophthora*, así mismo se aplicó Abamectina y nitrato de calcio al 1% vía foliar para prevención del ácaro *Tretranychus urticae*.

#### **4.2.4 Tratamientos y diseño experimental**

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar (Kuehl, 2001) con las variedades y selecciones como tratamientos. La unidad experimental consistió en una planta de fresa, con 30 repeticiones por tratamiento. En total se trasplantaron 210 plantas, de las cuales 42 permanecieron durante todo el periodo de evaluación.

#### **4.2.5 Variables respuesta**

##### **4.2.5.1 Crecimiento del fruto**

**Dinámica de crecimiento de fruto (diámetro).** La toma de datos para la dinámica de producción se inició el 01 de Noviembre del 2013 y se midió cada tercer día a partir de antesis hasta el momento de su cosecha, esto fue hasta el momento en que los frutos presentaron una coloración roja y se obtuvo con la ayuda de un vernier digital y los datos se expresaron en (mm). Se estudiaron 2 frutos por planta, y seis plantas por tratamiento. También se realizó el conteo de tiempo en días del desarrollo del fruto (antesis a cosecha). Estas lecturas se tomaron en los meses de Noviembre – Diciembre del 2013, Enero – Febrero y Marzo – Abril del 2014.

##### **4.2.5.2 Variables de producción y rendimiento de fruto**

**Dinámica de producción de fruto por planta y producción acumulada.** El inicio de la cosecha fue el día 21 de Noviembre del 2013 y concluyó el día 15 de Julio 2014. Se muestrearon frutos de fresa en estado de madurez comercial (3/4 del total de la superficie del fruto con coloración roja). Una vez que el fruto presentó el tamaño y coloración adecuados, se determinaron las siguientes variables; número de frutos cosechados (se realizó cada tercer día los dos primeros meses de cosecha y dos veces por semana el resto de los meses de cosecha). Posteriormente durante todo el periodo de estudio, se tomó y registró el peso a los frutos cosechados de cada una de las

plantas muestreadas, dichos frutos se pesaron en una balanza digital durante la etapa de producción.

**Calidad de fruto.** Para la determinación de este parámetro se seleccionaron nueve frutos completamente al azar por variedad o selección; se usaron tres repeticiones de tres frutos cada una.. Las fechas de evaluación fueron el 12 de Febrero, 11 de Marzo y 04 de Abril del 2014. Para tal estudio se consideraron las siguientes características:

**Peso.** Se determinó por medio de una balanza digital, los frutos fueron pesados al momento de la cosecha.

**Color de Fruto.** Se determinó con un colorímetro Hunter Lab D25 – PC2, el cual indicó los valores de L, a y b. Los cambios de color se determinaron calculando la relación b/a, para obtener el ángulo de tono ( $\arctan b/a$ ) e índice de saturación  $[(a^2+b^2)^{1/2}]$  (McGuire, 1992).

**Firmeza del fruto.** Se determinó por medio de un texturómetro (Wagner, modelo FDV-30), con puntal cónico de 8 mm, se midió en los dos lados ecuatoriales y se registró la fuerza expresada en Newton (Nt) necesaria para penetrar un fruto.

**Contenido de sólidos solubles totales (°Brix).** Se determinó utilizando un refractómetro digital modelo ATAGO - Pelette PR-32α con una escala de 0 a 32%, colocando dos gotas directamente en el aparato, reportando los datos en °Brix (°Bx).

**Acidez Titulable (AT).** Se determinó en base al método volumétrico de la A.O.A.C (1990). El cual indica tomar 10 gr de fruta homogeneizándola con 50 ml de agua destilada. Se midió el volumen total (agua destilada + fruta), después se colocarán 3 gotas de fenolftaleína en solución alcohólica al 1% para después titularla con NaOH al 0.1 N. El porcentaje de acidez se calculó en base al ácido de mayor presencia, en este caso el ácido cítrico de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\% \text{ ácido cítrico} = \frac{a*b*c*V}{P*A} * 100 [\%]$$

Dónde:

a= Mililitros de NaOH gastados.

b= Normalidad de NaOH empleado.

c= Mililitros equivalentes de ácido cítrico= 0.064

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

P= Peso de muestra.

A= Alícuota.

#### **4.2.6 Análisis Estadístico**

Se realizó análisis de varianza con el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS versión 9.0 y prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5% para determinar diferencias significativas entre los tratamientos.

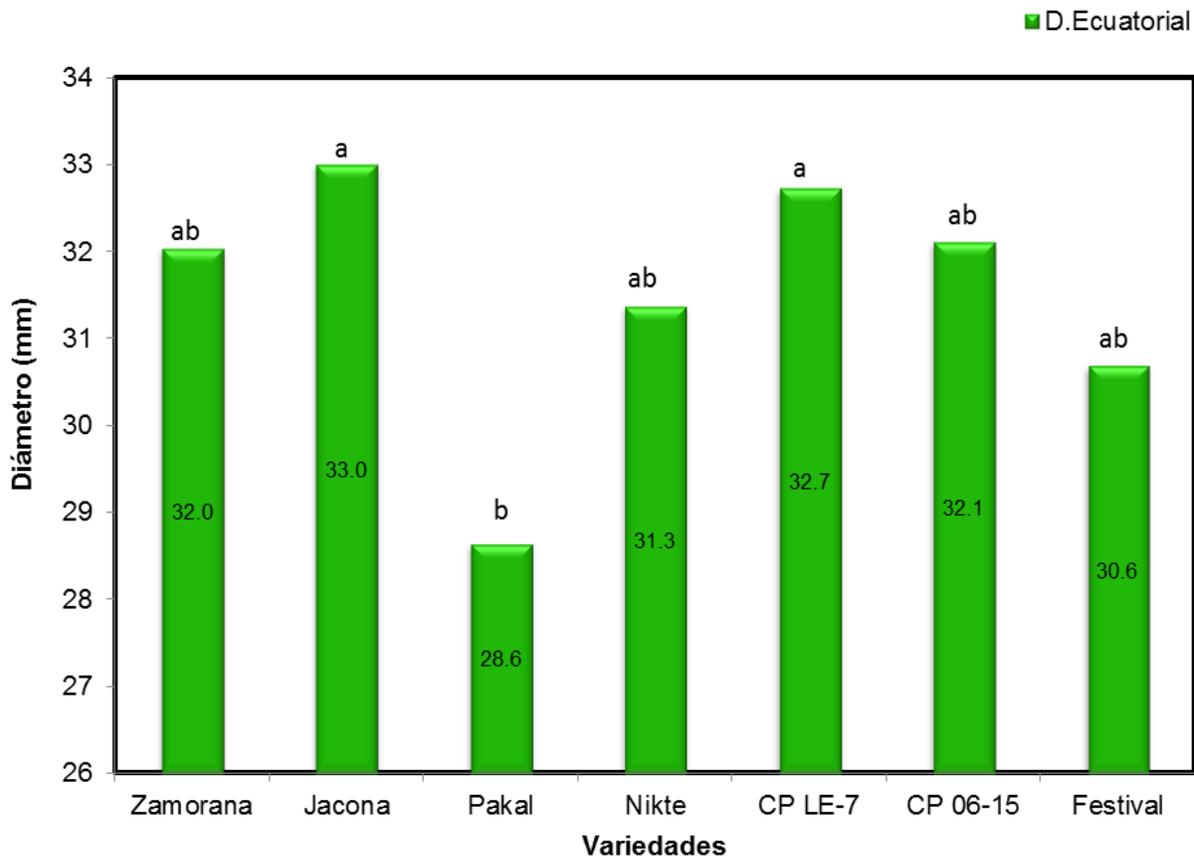
### **4.3 RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **4.3.1 Dinámica de crecimiento de fruto (diámetro)**

Las mediciones en secuencia cronológica de diámetro ecuatorial (DE) de fruto en las siete variedades de fresa permitieron evaluar el crecimiento en el tiempo. En la Figura 1 muestra las diferencias significativas entre las siete variedades ( $P < .0001$ ) (Cuadro A1) en el crecimiento del diámetro de fruto, comprendiendo las etapas fenológicas de flor (antesis) hasta la madurez completa del fruto.

Para el caso la variedad Jacona y la selección CP LE-7 se puede observar una mayor magnitud del diámetro ecuatorial del fruto, alcanzando su valor máximo de 33.01 y 32.73 mm respectivamente, estadísticamente esta variedad y selección son

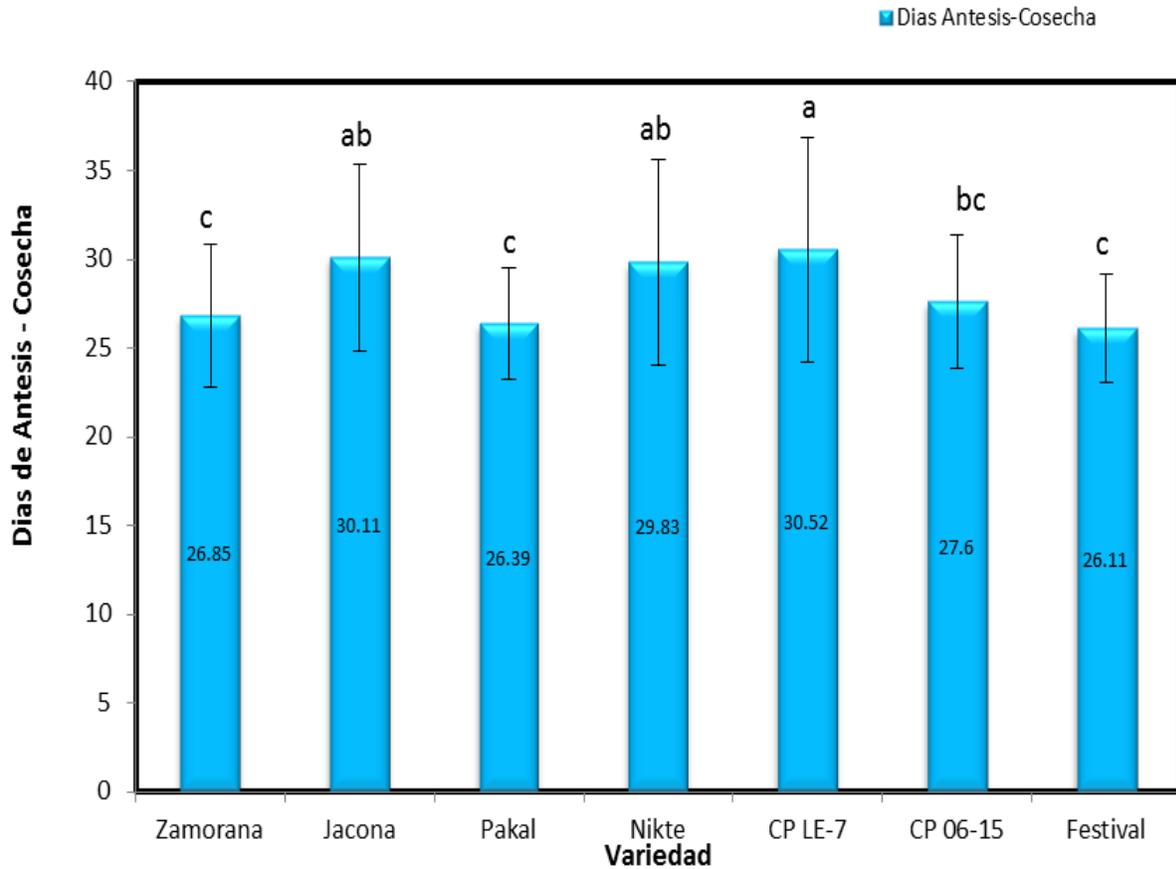
significativamente diferentes a la variedad Pakal, Pero no son significativamente diferentes con las variedades Zamorana, Nikte, Festival y la selección CP 06-15. El tamaño de fruto es importante porque es uno de los factores que contribuyen al rendimiento de la planta (Menzel y Smith, 2014).



**Figura 1.** Dinámica de crecimiento de fruto de siete variedades de fresa cultivadas en invernadero en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Edo. de México. Las letras distintas entre variedades indican diferencias mediante la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Las variedades más precoces en el desarrollo del fruto (anthesis - cosecha) fueron las variedades Zamorana, Pakal y Festival, pero estas variedades

estadísticamente no son significativamente diferentes a la selección CP 06-15, y son estadísticamente diferentes a las variedades Jacona, Nikté y CP LE-7 (Figura 2).



**Figura 2.** Tiempo en días de crecimiento de fruto (antesis – cosecha) de siete variedades de fresa cultivadas en invernadero en Montecillo, Edo. de México. Los datos son el promedio más la desviación estándar (barras verticales) ( $n = 6$ ). Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### **4.3.2 Producción mensual de fruto por planta y producción acumulada por planta.**

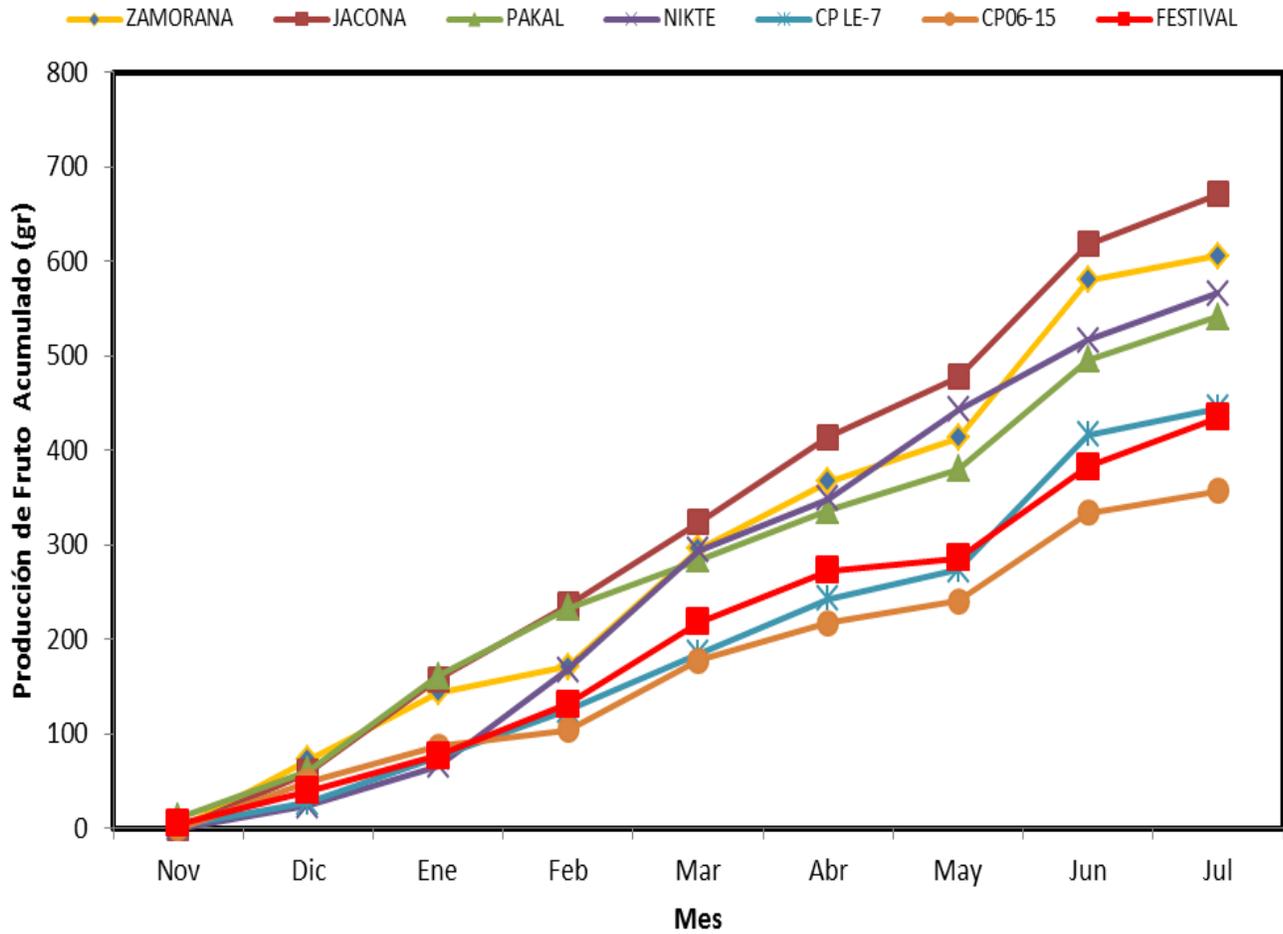
Durante el mes de Julio de 2014 se concluyó la evaluación de la producción de fruto. En la Figura 3 se aprecia que Zamorana, Jacona y Pakal tuvieron más producción en los primeros meses de Noviembre a Diciembre y de Diciembre a Enero. Para el mes de febrero 'Nikté' aumenta su producción mensual para continuar siendo de las más productivas hasta el fin del estudio en Julio (Figura 3). Hancock (1999), menciona que el aumento en la producción debe ser consecuencia de una abundante diferenciación de yemas florales por efecto de los días cortos que antecedieron el periodo de producción de fruto. Al respecto, se indica que las plantas de día corto presentan la iniciación de las yemas florales en condiciones de fotoperiodo corto, o cuando las temperaturas son menos de 15°C y con un fotoperiodo de 8 a 12 h.

Con el pasar del tiempo, la dinámica de producción mensual de fruto indica que las diferencias entre las variedades se hacen más evidentes (Figura 3). La variedad mexicana Jacona se muestra cada vez más superior al resto de los demás cultivares, seguida por Zamorana, Nikté y Pakal, notablemente mejores que la variedad comercial Festival, aunque la selección CP 06-15 en este estudio no proporcionó buenos rendimientos, incluso menores que Festival (Figura 3).

Baumann *et al.* (1993) indican que el comportamiento de las plantas en diferentes condiciones de temperatura, influye sobre el rendimiento acumulado por el desbalance entre los componentes de rendimiento. El rendimiento bajo de fruto en la variedad Festival puede deberse a una inadaptación a las condiciones climáticas locales de altas temperaturas, más aun en condiciones de cultivo bajo invernadero, que pudieron ocasionar la disminución del tamaño de fruto, ya que durante el desarrollo reproductivo, las plantas son sensibles a las altas temperaturas (Mckee y Richards, 1998).

En contraste, las variedades mexicanas han sido creadas y seleccionadas para un buen desempeño en condiciones cálidas en el subtrópico mexicano (Calderón y Vega 2009; Calderón *et al.*, 2009). Está reportado que a temperaturas por encima de

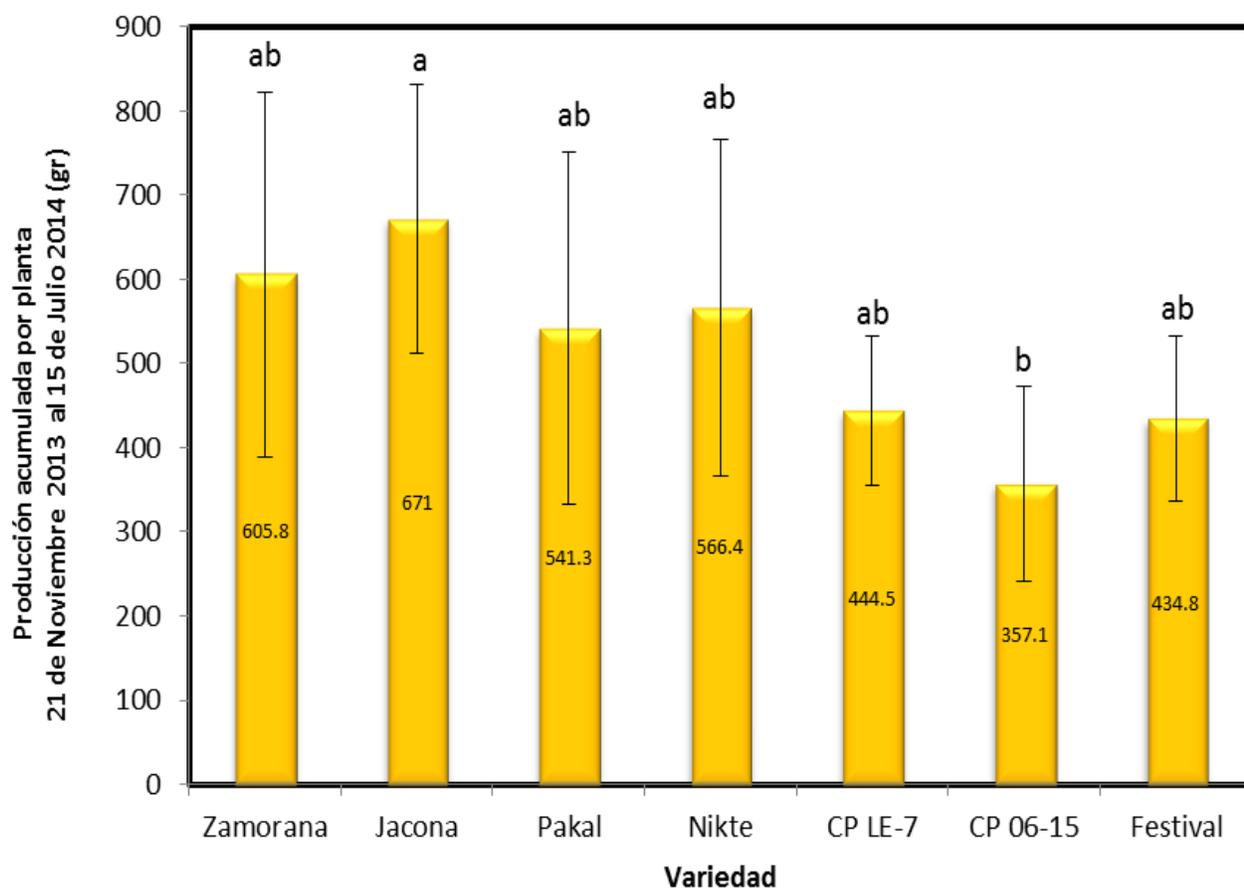
30 °C, la fresa reduce el tamaño de la fruta el peso de fruto y el crecimiento de la planta (Wang y Camp, 2000).



**Figura 3.** Dinámica de producción de fruto acumulada por planta cada mes durante el periodo de evaluación de siete variedades de fresa en Montecillo, Edo. de México. Los datos son el promedio de seis plantas por cada variedad.

Se recomienda estudiar todos los factores que pueden incidir en la producción de las variedades de fresas analizadas, desde los aspectos intrínsecos a su biología, hasta las prácticas culturales como son: la adecuación del espacio de crecimiento, el control de humedad y temperatura, la fertilización en los riegos y podas. Todo esto con fin de mejorar e incrementar la cantidad y calidad de las cosechas. En el cultivo de fresa, uno de los factores más importantes para asegurar su rendimiento y calidad inicia desde la selección de cultivares (Mitcham, 1996). En este sentido las variedades y selecciones mexicanas de fresa son las opciones más recomendables cuando se pretenden alcanzar los mayores rendimientos de fruto en las condiciones de estudio.

De acuerdo con los análisis estadísticos de la producción acumulada de fruto total por planta, hay diferencias significativas entre variedades (P 0.0295) (Cuadro A1). Los resultados presentados en las Figuras 3 y 4, muestran que la variedad Jacona presenta mayor producción acumulada total por planta con 671 g, estadísticamente diferente únicamente de la selección CP 06-15; y aunque la diferencia con 'Festival' es notable, no llega a ser significativa. . Flore y Layne (1999), mencionan que el incremento del rendimiento está ligado a cambios en la fijación fotosintética de bióxido de carbono, y sin embargo, las mediciones de la tasa fotosintética en hoja individual en otra parte de este estudio indican que no hubo diferencias significativas en la tasa de fijación de CO<sub>2</sub> (datos mostrados en el capítulo anterior).



**Figura 4.** Producción total acumulada de fruto por planta de siete variedades de fresa cultivadas en invernadero en Montecillo, Edo. de México. Los datos son el promedio más la desviación estándar (barras verticales) ( $n = 6$ ). Letras distintas entre variedades indican diferencias significativas mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

La respuesta de las variedades en producción total de fruto acumulada en el periodo de estudio, coincide con la respuesta que se tuvo con las variedades en producción total de materia seca y partición de la misma a fruto. Los esfuerzos deben hacerse para desarrollar y seleccionar cultivares que tienen frutos grandes para el clima cálido en las zonas subtropicales (Menzel y Smith, 2012).

### 4.3.3 Calidad de fruto

Durante las fechas evaluadas los atributos de calidad como el Peso, Color, Firmeza, Solidos Solubles Totales y Acidez Titulable variaron en las distintas variedades de fresa.

#### **Peso**

En esta variable el peso de fruto fue mayor en el mes de Marzo con un valor promedio de 16.5 g;, estadísticamente no hay diferencia significativa con el mes de Febrero, pero si hay diferencia en el mes de Abril (Cuadro 1).

La Selección CP LE-7 y la variedad Jacona presentaron mayor peso promedio de los frutos con respecto al resto de las variedades, estos cultivares no son estadísticamente diferentes a Zamorana, Nikté, Festival y la selección CP 06-15. Y son estadísticamente diferentes a la variedad Pakal (Cuadro 2).

#### **Color**

En el Cuadro 1 muestra que para brillo (L) los mejores meses fueron Marzo y Febrero respectivamente, y son estadísticamente diferentes al mes de Abril, el valor de índice de saturación (Chr) fue mayor en el mes de Marzo y estadísticamente es diferente al mes de abril y Febrero. Para ángulo de tono (Hue) el mes de Abril presentó mayor ángulo que el resto de las fechas evaluadas.

La variedad Festival presenta mayor brillo que el resto de las variedades seguida de la variedad Pakal y las selecciones CP LE-7 y CP 06-15. Estos cultivares son estadísticamente diferentes a Zamorana, Jacona y Nikté. El mayor valor para el índice de saturación (Chr) fue para la variedad Pakal seguida de Festival lo que indica que produjeron frutos más rojos, estos cultivares no son estadísticamente diferentes a Zamorana, Jacona y Nikté, y son estadísticamente diferentes a las selecciones CP LE-7 y CP 06-15. El mayor valor del ángulo de tono (Hue) fue para la Selección CP LE-7 y la variedad Festival, estas cultivares no presentan diferencias significativas con la selección CP 06-15, pero si son estadísticamente diferentes al resto de las variedades (Cuadro 2).

### **Firmeza**

Los frutos, presentaron mayor firmeza en el mes de Marzo (2.61 Nt), y es estadísticamente diferente a los meses de Febrero y Abril (Cuadro 1). En el Cuadro 2 muestra que la selección que presentó los frutos más firmes es CP LE-7 y es estadísticamente igual a las variedades Nikté, Festival y Zamorana, pero presenta diferencias significativas con el resto de los cultivares.

### **Sólidos Solubles Totales (°Bx)**

En el Cuadro 1 muestra que los frutos más dulces se cosecharon en el mes de Febrero y son estadísticamente diferentes al resto de los meses evaluados. En cuanto a las variedades y selecciones no existieron diferencias estadísticamente en las concentraciones de SST, entre las siete variedades evaluadas (Cuadro 2). Montero *et al.*, (1996) mencionan que el mayor contenido de SST en frutos, les confiere una mayor calidad.

Los azúcares son los principales compuestos solubles en los frutos de fresa; de los cuales fructosa, glucosa y sacarosa son los que se encuentran en mayor cantidad y determinan los grados Brix (Hidekazu, 2002; Hamano *et al.*, 2002).

### **Acidez Titulable (AT)**

Los frutos de los cultivares evaluados fueron diferentes estadísticamente en el porcentaje de AT durante los tres muestreos realizados, los resultados pudieron ser influenciados por las diferentes condiciones ambientales entre las tres fechas de cosecha (Hakala *et al.*, 2002) y características del cultivar.

Los frutos de los cultivares Pakal y CP LE-7 fueron los que presentaron menor acidez, durante los muestreos realizados, y el cultivar que presenta mayor acidez es CP 06-15 (Cuadro 2). Las principales normas de calidad para exportación de fresa (USDA, 2006; CCE, 2002) no determinan las concentraciones de AT requerida en frutos de fresa para su consumo en fresco.

**Cuadro 1.** Características de calidad de fruto de siete variedades de fresa cultivadas en invernadero en Montecillo Edo. de México, evaluadas en diferentes fechas.

FECHA	P (g)	L	Chr	Hue	F (Nt)	SS (°Bx)	AT (%)
12 Feb	15.54 ab	31.99 a	22.66 b	30.52 b	1.38 b	8.36 a	0.98 a
11 Marzo	16.5 a	32.06 a	26.1 a	31.34 b	2.61 a	5.55 b	0.78 b
04 Abril	13.75 b	30.57 b	21.96 b	33.37 a	1.58 b	5.62 b	0.68 c

Valores con la misma letra dentro de la columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). P: peso, L: brillo, Chr: índice de saturación, Hue: ángulo del tono, F: Firmeza, SS: Solidos Solubles, AT: Acidez Titulable.

**Cuadro 2.** Características cualitativas de siete variedades de fresa cultivadas en invernadero en Montecillo Edo. de México.

Variedad	P (gr)	L	Chr	Hue	F (Nt)	SS (°Bx)	AT (%)
Zamorana	16.8 ab	31.1 b	23.7 ab	29.5 b	1.4 ab	6.9 a	0.8 ab
Jacona	17.3 a	30.5 b	23.7 ab	29.7 b	1.3 b	6.2 a	0.8 ab
Pakal	12.3 b	32.5 ab	25.9 a	29.5 b	3.6 b	6.1 a	0.4 b
Nikté	16.1 ab	29.8 c	23.0 ab	30.0b	1.7 ab	6.4 a	0.8 ab
CP LE-7	18.1 a	31.9 ab	21.1 b	35.7 a	2.0 a	6.0 a	0.7 b
CP 06-15	15.0 ab	31.5 ab	22.4 b	32.7 ab	1.2 b	6.9 a	0.9 a
Festival	16.4 ab	33.1 a	24.9 a	35.0 a	1.5 ab	6.7 a	0.8 ab

Valores con la misma letra dentro de la columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). P: peso, L: brillo, Chr: índice de saturación, Hue: ángulo del tono, F: Firmeza, SS: Solidos Solubles, AT: Acidez Titulable.

#### **4.4 CONCLUSIONES**

Los cultivares mexicanos de fresa CP Jacona y CP LE-7 representan una buena alternativa para exportación con respecto al tamaño del fruto.

Las variedades CP LE-7, Jacona y Nikté presentaron un periodo de desarrollo de fruto (30 días) más corto que Zamorana, Pakal y Festival (27 días).

Las variedades CP-Zamorana, CP-Jacona y Pakal son una alternativa en cuanto a precocidad ya que se mostraron más productivas que 'Festival' al inicio del ciclo, durante el periodo de exportación de fruta (hasta febrero); 'Nikté' también produce más que 'Festival' pero a partir de este último mes del periodo de exportación.

Los cultivares mexicanos de fresa tales como CP Jacona y CP Zamorana, Nikté, Pakal y CP LE-7 son una excelente alternativa para rendimiento de fruto, ya que poseen mayores rendimientos, aunque similares estadísticamente, que la variedad introducida Festival.

Todos los materiales generados en México presentan atributos de calidad de fruta similar a la variedad comercial Festival, por lo que son considerados competitivos en este aspecto; destaca la selección CP LE-7.

## 4.5 REVISIÓN DE LITERATURA

- Apak R., Guclu K., Ozyurek M., Karademir S.E. 2004. Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenol and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine, CUPRAC method, *J. Agric. Food Chem.* 52: 7970–7981.
- Barrera, C.G, Sánchez B. C. 2003. Caracterización de la cadena Agroalimentaria/Agroindustrial Nacional, identificación de sus demandas tecnológicas: Fresa. Morelia. Michoacán. México. 79 p.
- Baumann, T.E., G.W. Eaton, and D. Spaner. 1993. Yield components of day-neutral and short-day strawberry varieties on raised beds in British Columbia. *Horticulturae Sciencie* 28:891-894.
- Calderón, Z.G., J. Rodríguez A., O. Carrillo M., M. Lara Ch. y R. Vega del R. 2009. CP Zamorana y CP Jacona, dos nuevas variedades de fresa para el subtrópico. 55 Reunión Anual de la Sociedad Internacional para la Horticultura Tropical. Barquisimeto, Venezuela. 12-16 Oct. 9p.
- Calderón, Z.G., y R. Vega del R. 2009. Variedades Mexicanas y Cultivares Comerciales Extranjeros de Fresa. Pp 56-60. In Cano, M.R., A.E. Becerril-Román, G. Calderón Z., A. López J. y C Saucedo V. (Editores). 2009. II Simposium Nacional de Producción Forzada de Frutales y I Curso Nacional de Producción Forzada de Durazno y Frutillas. Colegio de Postgraduados. México, 147p.
- Flore J.A. and D.R. Layne. 1999. Photoassimilate production and distribution in cherry. *Hortsciencie* 34:1015-1019.
- Gómez, C. 2004. Fresa: variedad Chandler (*Fragaria Chiloensis* L.). Caracterización de los productos hortifrutícolas colombianos y establecimiento de las Normas técnicas de calidad, CENICAFE y SENA, p. 145-151.
- Gady, A. L., J.A. Tudela, M. L. Gil, J.J. Medina, C. Soria, and F. A. Tomas-Brberán. 2006. Efecto del cultivo hidropónico y convencional en la calidad de cinco variedades de fresa en tres épocas de recolección. Departamento de Ciencias y Tecnología de Alimentos. CEBAS-CSIC. 101-104.
- Hakala, M. R., Huopalahti, T.R., Lapvetelainen, A. 2002. Quality factors of finish strawberries. *Acta Horticulturae* 567: 727-729.

- Hancock, J. F. 1999. Strawberries. CAB international. 107-109.
- Hamano. M. Y.; Yamazaki, Y.H.; Miura, H. 2002. Change in sugar contents and composition of strawberries. *Acta Horticulturae* 567:369-372.
- Hidezaku, I.2002. Potential on near infrared spectroscopy for nondestructive determination of °Brix in strawberries. *Acta Horticulturae* 567: 751-754.
- Kamperiduo, I, and M. Visilakakis. 2005. Effect of propagation material on some quality attributes of strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*, var. Selva) *Scientia Horticulturae*. 107:137-142.
- Menzel CM, Smith L 2012. Effect of time of planting and plant size on the productivity of 'Festival' and 'Florida Fortuna' strawberry plants in a subtropical environment. *HortTechnology* 22: 330–337.
- Menzel, C.M y Smith L. 2014. The growth and productivity of 'Festival' strawberry plants growing in a subtropical environment, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 42:1, 60-75.
- Mitcham. B. 1996. Quality assurance for strawberries: a case study. Publ. 85. *Perishables Handling Newsletter*. Department of Pomology, University of California, Davis. CA. 3 p.
- Montero, T.M.; Mollá, E.M.; Esteban, R.M.; Andréu, F., J.L. 1996. Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Horticulturae* 65: 239-250.
- Mckee, J., and A.J. Richards. 1998. The effect of temperature on reproduction in five *Primula* species. *Ann. Bot.* 82: 359-374.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.
- Pincemail J., Kevers C., Tabart J., Dommès J. 2012. Cultivar, culture, conditions and harvest time influence phenolics and ascorbic acid contents and antioxidant capacity of strawberry, *J. Food Sci.* 77: 205–210.
- Sadilova, E.; Stintzing, F.C.; Kammerer, D.R.; Carle, R. 2009. Matrix dependent impact of sugar and ascorbic acid addition on color and anthocyanin stability of black carrot, elderberry and strawberry single strength and from concentrate juices upon thermal treatment. *Food Res. Int.* 42, 1023–1033.
- Sexana, G. K; Locascio. S.J. 1968. Fruit quality of fresh strawberries ass influenced by nitrógeno and potassium nutrition. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 92: 354-362.

- Seeram, N. P. 2008. Berry fruits: Compositional elements, biochemical activities, and the impact of their intake on human health, performance, and disease. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 627–629.
- Sturm, K., D. Koron, F. Stampar. 2003. The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chemistry* 83:417-422.
- USDA. 2006. United States Standards for Grades of Strawberries.
- Wang, H.; Nair, M.G.; Strasburg, G.M.; Chang, Y.C.; Booren, A.M.; Gray, J.I.; Dewitt, D.L. 1999. Antioxidant and anti-inflammatory activities of anthocyanins and their aglycon, cyanidin, from tart cherries. *J. Nat. Prod.* 62, 294–296.
- Wang, S., and M.J. Camp. 2002. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*. 85:183-199.

#### 4.6. APÉNDICE

**Cuadro A1.** Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV), coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), prueba de significancia del modelo (Pr>F) y grados de libertad (GL). Para dinámica de crecimiento en diámetro ecuatorial y longitudinal, días a fruto maduro (antesis a cosecha) y producción acumulada de fruto por planta.

Dinámica de crecimiento	CME	CV	R <sup>2</sup>	Pr>F	GL
Diámetro Ecuatorial	18.608440	13.68491	0.275831	<.0001	168
Diámetro Longitudinal	36.588253	16.82526	0.224671	<.0011	168
Días (antesis–cosecha)	19.079654	15.47482	0.268244	<.0001	279
Producción acumulada Por planta	26717.549	31.87529	0.315571	0.0295	35

**Cuadro A2.** Valores de cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV), coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), prueba de significancia del modelo (Pr>F) y grados de libertad (GL). Para la variable calidad, aspectos evaluados son: peso, brillo, índice de saturación, ángulo del tono, firmeza, sólidos solubles y acidez Titulable.

Calidad	CME	CV	R <sup>2</sup>	Pr>F	GL
Peso	28.045643	34.67552	0.257437	<.0001	168
Brillo (L)	9.521842	8.864344	0.425058	<.0004	168
Índice de saturación (Chr)	13.2005885	17.34567	0.425058	<.0001	168
Ángulo de Tono (Hue)	6.2685055	19.52795	0.288321	<.0001	168
Firmeza (F)	0.801611	58.74770	0.226696	0.0010	167
Sólidos Solubles Totales (SST)	1.8289418	20.74680	0.555353	<.0001	168
Acidez Titulable (AT)	0.02832900	20.60634	0.525036	<.0001	168