



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA  
INSTITUTO DE HORTICULTURA

**ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN DE  
MACRONUTRIMENTOS EN PIMIENTO  
(*Capsicum annuum* var Botánica Grossum)**

**TESIS**

Como requisito parcial para obtener el grado de:  
**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

Presenta:

**ANIDAR XAVIER ORANTES SALGUERO**

**Bajo la supervisión de: Dr. ROGELIO CASTRO BRINDIS**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, Estado de México, noviembre de 2017



**ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN DE  
MACRONUTRIMENTOS EN PIMIENTO  
(*Capsicum annuum* var Botánica Grossum)**

Tesis realizada por Anidar Xavier Orantes Salguero bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

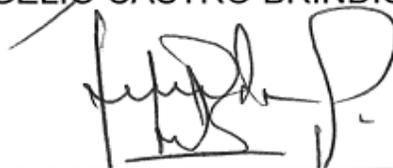
**MAESTRO EN CIENCIAS**

DIRECTOR:



Dr. ROGELIO CASTRO BRINDIS

ASESOR:



Dr. JOEL PINEDA PINEDA

ASESOR:



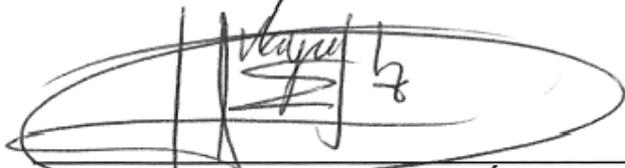
Dr. MARIO PÉREZ GRAJALES

ASESOR:



Dr. JUAN ENRIQUE RODRÍGUEZ PÉREZ

ASESOR:



Dr. MATEO VARGAS HERNÁNDEZ

# CONTENIDO

LISTA DE CUADROS .....	iv
LISTA DE FIGURAS .....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	ix
DEDICATORIA .....	x
DATOS BIOGRÁFICOS.....	xi
RESUMEN GENERAL.....	xii
GENERAL ABSTRACT.....	xiii
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	2
1.2 REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL.....	4
1.2.1 <i>El Pimiento (Capsicum annuum L.)</i> .....	4
1.2.2 <i>Análisis de Crecimiento</i> .....	6
1.2.3 <i>Medidas de crecimiento</i> .....	7
1.2.4 <i>Dinámica Nutrimental</i> .....	10
1.2.5 <i>Extracción nutrimental del cultivo de pimiento</i> .....	13
1.2.6 <i>Unidades Calor</i> .....	16
1.3 LITERATURA CITADA.....	19
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>28</b>
<b>DINÁMICA DE CRECIMIENTO .....</b>	<b>28</b>
RESUMEN.....	29
ABSTRACT .....	30
2.1 INTRODUCCIÓN.....	31
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS .....	36
2.2.1 <i>Localización</i> .....	36
2.2.2 <i>Características del sustrato y contenedor</i> .....	36
2.2.3 <i>Tratamientos y diseño experimental</i> .....	37
2.2.4 <i>Variables evaluadas</i> .....	37
2.2.5 <i>Manejo del Cultivo</i> .....	38

2.3	RESULTADO Y DISCUSIÓN .....	40
2.4	CONCLUSIONES .....	47
2.5	LITERATURA CITADA.....	48
	<b>CAPITULO III.....</b>	<b>55</b>
	<b>EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL .....</b>	<b>55</b>
	RESUMEN.....	56
	ABSTRACT.....	57
3.1	INTRODUCCIÓN.....	58
3.2	MATERIALES Y MÉTODOS .....	60
3.2.1	<i>Localización.....</i>	<i>60</i>
3.2.2	<i>Características del sustrato y contenedor .....</i>	<i>60</i>
3.2.3	<i>Tratamientos y diseño experimental.....</i>	<i>61</i>
3.2.4	<i>Variables evaluadas .....</i>	<i>61</i>
3.2.5	<i>Manejo del Cultivo.....</i>	<i>63</i>
3.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
3.4	CONCLUSIONES .....	76
3.5	LITERATURA CITADA.....	77
<b>4</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>83</b>

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b> Código de clasificación de tamaño.....	5
<b>Cuadro 2.</b> Requerimiento nutrimental de chile influenciado por la variedad y el rendimiento, adaptado por Terbe <i>et al.</i> , 2006.....	14
<b>Cuadro 3.</b> Extracción de macronutrientes en plantas de chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.), considerando la planta completa.....	15
<b>Cuadro 4.</b> Requerimiento (Kg·t <sup>-1</sup> ) de chile pimiento, influenciado por la tecnología de producción, adaptado por Terbe <i>et al.</i> ,2006.....	16
<b>Cuadro 5</b> Características físicas del sustrato fibra de coco, tamizado en estructuras rectangulares en un contenedor de polietileno extruido de dimensiones de 100x20x17 cm. ....	36
<b>Cuadro 6.</b> Características de los híbridos de chile pimiento ( <i>Capsicum annuum</i> var botánica grossum) utilizados en el experimento.....	37
<b>Cuadro 7.</b> Características físicas del sustrato fibra de coco, tamizado en estructuras rectangulares en un contenedor de polietileno extruido de dimensiones de 100x20x17 cm. ....	60
<b>Cuadro 8.</b> Características de los híbridos de chile pimiento ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum) utilizados en el experimento. ....	61
<b>Cuadro 9.</b> Comparación de medias de características evaluadas durante el ciclo del cultivo de seis cultivares de pimientos ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum), Chapingo, México 2016. ....	64
<b>Cuadro 10.</b> Comparación de medias de altura de planta, diámetro de tallo principal durante el ciclo del cultivo de los diferentes tipos de pimientos ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum), Chapingo, México 2016. ....	84
<b>Cuadro 11.</b> Comparación de medias de área foliar y número de hojas durante el ciclo del cultivo de los diferentes tipos de pimientos ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum), Chapingo, México 2016. ....	85
<b>Cuadro 12.</b> Comparación de medias de Peso seco tallo, peso seco hoja, peso seco fruto durante el ciclo del cultivo de los diferentes tipos de pimientos ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum). Chapingo, México 2016. ....	86

<b>Cuadro 13.</b> Porcentajes de materia seca por órgano durante el ciclo del cultivo de los diferentes tipos de pimientos ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum), Chapingo, México 2016. ....	87
<b>Cuadro 14.</b> Comparación de medias de Peso seco total durante el ciclo del cultivo de los diferentes tipos de pimientos ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum), Chapingo, México 2016. ....	88
<b>Cuadro 15.</b> Comparación de medias del contenido y extracción de nitrógeno (N) en la parte aérea de la planta durante el ciclo del cultivo de pimiento ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum). Chapingo, México 2016. ....	89
<b>Cuadro 16.</b> Comparación de medias del contenido y extracción de Fósforo (P) en la parte aérea de la planta durante el ciclo del cultivo de pimiento ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum). Chapingo, México 2016. ....	90
<b>Cuadro 17.</b> Comparación de medias del contenido y extracción de Potasio (K) en la parte aérea de la planta durante el ciclo del cultivo de pimiento ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum). Chapingo, México 2016. ....	91
<b>Cuadro 18.</b> Comparación de medias del contenido y extracción de Calcio (Ca) en la parte aérea de la planta durante el ciclo del cultivo de pimiento ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum). Chapingo, México 2016. ....	92
<b>Cuadro 19.</b> Comparación de medias del contenido y extracción de Magnesio (Mg) en la parte aérea de la planta durante el ciclo del cultivo de pimiento ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum). Chapingo, México 2016. ....	93

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Comparación de acumulación de materia seca promedio por planta de pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). PST: peso seco de tallo, PSH: peso seco de hoja, PSF: peso seco de fruto. Chapingo, México, 2016. .... 40
- Figura 2.** Tasa absoluta de crecimiento planta completa, durante el ciclo de cultivo del pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016. .... 42
- Figura 3.** Tasa relativa de crecimiento planta completa, durante el ciclo de cultivo del pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016. .... 43
- Figura 4.** Tasa de asimilación neta planta completa, durante el ciclo de cultivo del pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016. .... 45
- Figura 5.** Razón de área foliar planta completa, durante el ciclo de cultivo del pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016. .... 46
- Figura 6.** a) Extracción de nitrógeno, b) Tasa absoluta de extracción de nitrógeno, durante el ciclo de cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016. .... 67
- Figura 7.** a) Extracción de fosforo, b) Tasa absoluta de extracción de fosforo, durante el ciclo de cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum) BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C:

Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.....	69
<b>Figura 8.</b> a) Extracción de potasio, b) Tasa absoluta de extracción de potasio, durante el ciclo de cultivo de pimiento ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.....	71
<b>Figura 9.</b> a) Extracción de calcio, b) Tasa absoluta de extracción de calcio, durante el ciclo de cultivo de pimiento ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.....	73
<b>Figura 10.</b> a) Contenido y extracción de magnesio, b) Tasa absoluta de extracción de magnesio, durante el ciclo de cultivo de pimiento ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016. ....	75
<b>Figura 11.</b> Tasa de crecimiento absoluto en tallo (a) y hoja (b), durante el ciclo de cultivo de los pimientos ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016. ....	94
<b>Figura 12.</b> Tasa de asimilación neta de tallo (a), y hoja (b), durante el ciclo de cultivo de los pimientos ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016. ....	95
<b>Figura 13.</b> Razón de área foliar de tallo (a) y hoja (b), durante el ciclo de cultivo de los pimientos ( <i>Capsicum annuum</i> var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016. ....	96

**Figura 14.** Tasa de crecimiento relativo de tallo (a) y hoja (b), durante el ciclo de cultivo de los pimientos (*Capsicum annum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016. .... 97

**Figura 15.** a) Tasa de crecimiento absoluto (TAC) de fruto, b) Tasa de crecimiento relativo (TRC) de fruto, durante el ciclo de cultivo de los pimientos (*Capsicum annum* var Botánica Grossum). FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016..... 98

**Figura 16.**Tasa de asimilación neta (TAN) de fruto, durante el ciclo de cultivo de los pimientos (*Capsicum annum* var Botánica Grossum). FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016. .... 99

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme una bendición más y la oportunidad de concluir esta etapa de mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca que me otorgó para realizar mis estudios de Maestría.

Al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia por todo el apoyo brindado y por darme el privilegio de formar parte de sus alumnos.

Al Dr. Rogelio Castro Brindis por su humildad, sencillez y calidez como persona y profesionista al compartir sus conocimientos para dirigir esta investigación.

Al Dr. Joel Pineda Pineda por su dirección y apoyo en la realización de este proyecto de investigación, por confiar en mi persona y mis capacidades.

Al Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez por su dirección y apoyo en la investigación.

Al Dr. Mateo Vargas Hernández por sus valiosas aportaciones en la evaluación de esta tesis.

Al Dr. Mario Pérez Grajales por su valiosa participación en el desarrollo del presente trabajo.

## DEDICATORIA

**A mi esposa Ingrid Zepeda** por estar siempre a mi lado apoyándome para seguir adelante, por brindarme su cariño y comprensión en esta etapa de nuestra vida.

**A mi madre Ruth Salguero**, por darme la vida, por su amor y comprensión a lo largo de mi crecimiento profesional, pero sin duda alguna por inculcarme grandes valores que me permitieron llegar a cumplir una de mis metas que es el ser un profesionalista.

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

### **Datos personales**

Nombre	Anidar Xavier Orantes Salguero
Fecha de nacimiento	27 de enero de 1984...
Lugar de nacimiento	Ciudad de Guatemala.
Profesión	Ingeniero Agrónomo

### **Desarrollo académico**

Bachillerato en computación con orientación Científica, Instituto Suger Montano.

Licenciatura en Ciencias Agrícolas con énfasis en riego.

Catedrático de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas sede Jutiapa, Universidad Rafael Landívar

## RESUMEN GENERAL

### ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS EN PIMIENTO (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum)

Existe alta relación entre el contenido de nutrimentos en los tejidos y el rendimiento, debido a la relación directa entre la fuente y las zonas de demanda. Por ello, la fertilización de los cultivos debe ser acorde al ciclo fenológico y a los mecanismos que controlan la fuerza de demanda de los órganos que generan la distribución de los fotoasimilados y modifican la acumulación de biomasa. Los objetivos de esta investigación fueron analizar la dinámica de crecimiento y la extracción de macronutrimentos en pimientos con frutos tipo lamuyo y california (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum), en sus diferentes etapas fenológicas, durante un ciclo de 162 días. Se estableció un sistema hidropónico abierto con fibra de coco como sustrato empleando la solución nutritiva de Steiner. Se realizaron 12 muestreos a intervalos de 14 días. Se determinó el peso seco y se analizó el contenido de N, P, K, Ca y Mg de la parte aérea de la planta. Hasta las 100 Unidades Calor (UC) se observó crecimiento lento en todos los cultivares con una tasa de crecimiento absoluta (TAC) menor a  $0.05 \text{ g}\cdot\text{UC}^{-1}$ , los valores máximos fueron observados entre 320 y 380 UC para cada cultivar. La mayor tasa de asimilación neta (TAN) fue observada a las 280 UC para los cultivares más precoces con un valor de  $0.34 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{UC}^{-1}$ . Durante el inicio del ciclo de cultivo se obtuvieron la mayor tasa relativa de crecimiento (TRC) con un valor de  $16.51 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{UC}^{-1}$  y la mayor relación de área foliar (RAF) con un valor de  $172.42 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ . La extracción nutrimental ( $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ) obtenida al final del ciclo de crecimiento fue: 4212 F<sub>1</sub>: 19.72, 1.45, 40.37, 1.84, 3.22, Cortes F<sub>1</sub>: 25.10, 2.25, 59.97, 2.98, 2.29, Prometeo F<sub>1</sub>: 12.61, 1.78, 20.65, 1.90, 2.14, Aristeo F<sub>1</sub>: 11.98, 1.78, 17.43, 1.93, 2.12, Anabel F<sub>1</sub>: 20.00, 1.99, 33.04, 2.04, 1.96, Araceli F<sub>1</sub>: 14.12, 1.36, 20.65, 1.51, 2.12 de N, P, K, Ca y Mg respectivamente.

**Palabras clave:** Dinámica de crecimiento, índices de eficiencia fisiológica, tasa de extracción, tasa de asimilación neta, unidades calor.

## GENERAL ABSTRACT

### ANALYSIS OF GROWTH AND EXTRACTION OF MACRONUTRIENTS IN PEPPER (*Capsicum annuum* var Botany Grossum)

There is a high relationship between the nutrient content in tissues and yield due to the direct relationship between the source and the demand zones. Therefore, crop fertilization must be according to the phenological cycle and the mechanisms that control the force of demand of the organs that generate the distribution of the photoassimilates and modify the accumulation of biomass. The objectives of this research were to analyze the growth dynamics and macronutrient extraction in peppers with lamuyo and california fruits (*Capsicum annuum* var Botany Grossum) in their different phenological stages, during a 162-day cycle. An open hydroponic system with coconut fiber as substrate was established using Steiner's nutrient solution. Twelve samples were taken at 14-day intervals. The dry weight was determined and the content of N, P, K, Ca and Mg of the aerial part of the plant was analyzed. At up to 100 Heat Units (HU), slow growth was observed in all cultivars with a crop assimilation rate (CAR) below  $0.05 \text{ g}\cdot\text{HU}^{-1}$ ; maximum values were observed between 320 and 380 HU for each cultivar. The highest net assimilation rate (NAR) was observed at 280 HU for the earliest cultivars with a value of  $0.34 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{HU}^{-1}$ . During the beginning of the crop cycle, the highest relative growth rate (RGR) was obtained with a value of  $16.51 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{HU}^{-1}$  and the highest leaf area ratio (LAR) with a value of  $172.42 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ . The nutritional extraction ( $\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$ ) obtained at the end of the growth cycle was: 4212 F<sub>1</sub>: 19.72, 1.45, 40.37, 1.84, 3.22, Cuts F<sub>1</sub>: 25.10, 2.25, 59.97, 2.98, 2.29, Prometeo F<sub>1</sub>: 12.61, 1.78, 20.65, 1.90, 2.14, Aristeo F<sub>1</sub>: 11.98, 1.78, 17.43, 1.93, 2.12, Anabel F<sub>1</sub>: 20.00, 1.99, 33.04, 2.04, 1.96, Araceli F<sub>1</sub>: 14.12, 1.36, 20.65, 1.51, 2.12 N, P, K, Ca and Mg, respectively.

**Key words:** Growth dynamics, physiological efficiency indexes, extraction rate, net assimilation rate, heat units.

**CAPITULO I**  
**GENERALIDADES**

## 1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El pimiento (*Capsicum annum* L.) pertenece a la familia *solanaceae* y su importancia radica en su valor nutraceútico por su alto contenido de vitamina A, B1, B2 y C, su sabor agradable y los efectos medicinales al estimular el sistema inmunológico y el retraso de envejecimiento celular (Vera-Guzmán *et al.*, 2011; Bortolotti, 2013; Gonzales-Zamora *et al.*, 2015), lo que lo ha llevado a ser una de las hortalizas de mayor producción bajo condiciones de invernadero (FAOSTAT, 2015).

En general el pimiento es un cultivo de manejo intensivo que requiere de mayor flujo de nutrimentos debido a la alta demanda por la planta, los cuales deben ser aportados en cantidad y proporciones adecuadas por medio de iones asimilables (Castellanos, 2004, Ciampitti *et al.*, 2011). El rendimiento y la calidad de los cultivos es una resultante de la interacción genotipo-ambiente, en este vínculo algunos factores no pueden ser controlados por el hombre en cultivos a campo abierto (factores climáticos), otros pueden ser controlados en alguna medida (plagas y enfermedades) y otros pueden ser controlados de manera precisa cómo la nutrición en sistemas hidropónicos, donde existe poca información en relación al manejo de las condiciones nutrimentales de la planta de pimientos variedad botánica grossum y su relación con el rendimiento, que favorezcan la expresión del cultivo y que permitan hacer más eficiente el uso de los recursos (Alcántar *et al.*, 2007; Pineda-Pineda *et al.*, 2008; Marschner, 2012).

La adquisición de elementos minerales por las raíces a partir de la solución nutritiva constituye el primer paso en la nutrición mineral, donde la disponibilidad, absorción y distribución de nutrientes esenciales en la planta son factores que determinan el crecimiento y rendimiento en los cultivos (Marschner, 2012).

Las curvas de extracción nutrimental indican la etapa de mayor absorción y son necesarias para diseñar programas de nutrición que permitan realizar ajustes para maximizar la eficiencia de los fertilizantes y determinar la cantidad de nutrimentos requeridos que permiten definir el programa de fertilización

adecuado para el cultivo y obtener el rendimiento deseado (Bertsch, 2009; Valentín *et al.*, 2013; Avitia *et al.*, 2014).

La tecnología actual permite planear el manejo nutrimental de los cultivos en los momentos que lo requiera según sus diferentes etapas de desarrollo (plántula, crecimiento vegetativo, floración y fructificación), el manejo agronómico de los pimientos es ampliamente conocido, pero no específico para los cultivares de la variedad grossum. Debido a la escasez de información en estos cultivares, es necesario realizar un análisis detallado del crecimiento, fenología y distribución de asimilados en la planta con el fin de generar información que permita aportar los nutrimentos en proporciones y cantidades específicas en el momento que sean requeridos para incrementar el rendimiento y mejorar su calidad. Para ello, la presente investigación se desarrolló en dos fases. La primera es un análisis de crecimiento de pimiento variedad grossum en un sistema hidropónico conducido con poda tipo holandesa y en la segunda se determinó la extracción nutrimental y la tasa absoluta de absorción de macronutrimentos (N, P, K, Ca y Mg) a través del ciclo del cultivo.

## 1.2 REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL

### 1.2.1 El Pimiento (*Capsicum annuum* L.)

Pertenece a la familia *solanaceae*, posee gran variabilidad genética que conlleva a que existan varias posturas respecto a su denominación botánica, pero la mayoría de autores acepta que es *Capsicum annuum* L. la especie que engloba todas las variedades cultivadas de pimientos (Jiménez, 1992).

En México es donde se han encontrado restos arqueológicos de la utilización del *Capsicum annuum* L., según Nuez *et al.* (1996) su centro de origen se da en Centro América y el área Andina Central (Bolivia, Perú y Ecuador) que fue de donde se extendió hasta el Norte, siendo México el que posee la mayor fuente de variabilidad genética.

Es una planta perenne de crecimiento limitado y recto, según sea su variedad y si es cultivado en invernaderos o campo abierto. Esta presenta longitudes de raíces que van desde los 50 cm hasta 1 m que de dependerá de la profundidad y textura del medio de crecimiento (Agrohuerto, 2016).

Posee una sola flor o varias flores según el cultivar, que se insertan en las axilas de las hojas, las cuales se polinizan de forma autógena. Las hojas son enteras, lampiñas y lanceoladas, de apéndice pronunciado y peciolo largo y aparente, se distribuyen de forma alterna y su tamaño difiere de acuerdo con el cultivar (Agrohuerto, 2016).

Posee una baya hueca en forma de capsula en posición abatida, semicartilaginosa desarrollada a partir del ovulo fecundado de colores diversos (verdes, rojos, amarillos, naranjas, morados, cafés, blancos), posee entre 2 y 4 lóbulos y su peso puede ir desde los 25 g hasta los 500 g (Reche, 2010; Agrohuerto, 2016).

Los frutos se clasifican según su relación longitud/anchura que es una clasificación muy cercana a la utilizada por los agricultores, según Reche (2010) entre las variedades de pimiento dulces cultivados en invernaderos se tiene:

**a) Tipo California.** Son exigentes en temperatura por lo que se tiende a cultivarlos en ciclos temprano, dependiendo de la climatología y del área de cultivo. No obstante, se comercializan variedades para trasplantes de ciclo corto.

Corresponde a frutos cortos y anchos de sección cuadrada, cuya longitud es similar a la anchura, pericarpio más o menos grueso y ciclo semi precoz, con hombros muy marcados y pronunciados, prácticamente al mismo nivel que el cáliz y el pedúnculo. Se recolectan en color rojo, amarillo y verde.

**b) Tipo Lamuyo.** Su nombre procede de la variedad “lamuyo” obtenida por el INRA francés. Son frutos, de gran tamaño, largos, de sección cuadrada, rectangulares y de longitud mayor que la anchura, de pericarpio grueso, hay variedades que pueden alcanzar hasta los 400 g. En general son plantas de vegetación frondosa y vigorosa.

Son menos sensibles al frío que los del tipo California y se cultivan para plantaciones medias y tardías y en ciclos largos. También se comercializan algunas variedades para trasplantes tempranos, su coloración va del verde al rojo intenso cuando está maduro. Se recolecta en verde (antes de la madurez fisiológica), y rojos cuando maduran, predominan los colores rojos y verdes.

**c) Tipo Italiano.** Es uno de los tipos de pimientos más comercializados, son frutos de forma alargada, estrechos, puntiagudos, sección triangular, de color verde brillante que se torna ligeramente a rojo al madurar, superficie irregular, de pericarpio fino, y son tolerantes al frío.

Para estos pimientos se utiliza una forma de clasificar su tamaño el cual emplea los siguientes códigos:

**Cuadro 1 Código de clasificación de tamaño.**

Código	Descripción	Calibre (mm)
GG	Corresponde a variedades de frutos muy grandes	90 – 100
G	Corresponde a variedades de frutos grandes	70 -90
M	Corresponde a variedades de frutos medianos	50 – 70
P	Corresponde a variedades de frutos pequeños	< 50

Fuente: Anónimo (s.f.), dossier Harris Moran seed Company, Clause Vegetable Seeds y Seminis.

### 1.2.2 Análisis de Crecimiento

Se dispone de análisis de crecimiento vegetal para estudiar los procesos de acumulación y distribución de biomasa, los cuales se basan en medidas tales como el peso seco de plantas completas o seccionada en sus diferentes órganos (raíz, tallo, hojas, flores, frutos) y el área foliar, contenido de clorofila, etc. (Kvet *et al.*, 1971).

Los procesos fisiológicos que conllevan al crecimiento de los diferentes órganos de la planta dependen directamente de la fotosíntesis, la respiración, la división celular, la elongación, la diferenciación entre otros, que generan un incremento irreversible acompañado de cambios morfológicos (Hunt, 2003c; Gardener *et al.*, 2003; Taiz, and Zeiger, 2006).

Existen dos metodologías para efectuar el análisis de crecimiento las cuales son:

**Análisis Clásico o Tradicional:** La toma de datos se encuentra en función del tiempo (Cada 1 – 2 semanas) en un gran número de muestras, que generan funciones paramétricas flexibles que permite describir y explicar el crecimiento y desarrollo de las plantas con la elaboración de curvas de crecimiento (Gardner *et al.*, 2003).

**Análisis Dinámico o Funcional:** éste comprende medidas a intervalos de tiempos cortos y frecuentes con un número pequeño de plantas, que presenta ventajas sobre el método clásico (Radford 1967) entre las que podemos mencionar:

Efectúa el análisis con base en la masa seca y área foliar en función del tiempo.

Utiliza el método de regresión para el análisis, empleando datos disponibles en un tiempo, mientras que el método clásico requiere de datos de varias cosechas.

Requiere tomar datos a intervalos de tiempo frecuentes y en un pequeño número de plantas.

### 1.2.3 Medidas de crecimiento

Son técnicas que mediante comparaciones cuantitativas de materia seca nos permiten estudiar los patrones de crecimiento vegetal, analizar su crecimiento en función del tamaño del área foliar y el tiempo en el que el follaje persiste (Santos *et al.*, 2010), entre las cuales se tiene al índice de área foliar (IAF), la razón de área foliar (RAF), los índices de productividad como tasa de crecimiento relativo (TRC), la tasa de asimilación neta (TAN) y la tasa decrecimiento del cultivo (TCC) o tasa de crecimiento absoluta (TAC) (Hunt, 2003c).

Para su cálculo Richard (1959) propone el siguiente modelo logístico:

$$Y = \frac{A}{1+B \cdot e^{-C \cdot X}}$$

Donde:

Y= Variable respuesta

A= Punto de asintoticidad; A/2 corresponde a la ordenada del punto de inflexión de la curva.

B= parámetro relacionado con la ordenada al origen.

e= base de logaritmo natural

C= parámetro relacionado con el punto de inflexión

X= días después de trasplante (DDT)

A partir de estos modelos se obtuvieron los índices de análisis de crecimiento de plantas.

$$TAC = \frac{A \cdot B \cdot C \cdot e^{-C \cdot X}}{(1+B \cdot e^{-C \cdot X})^2}$$

$$TRC = \frac{A \cdot B \cdot C \cdot e^{-C \cdot X} / (1+B \cdot e^{-C \cdot X})^2}{A / (1+B \cdot e^{-C \cdot X})}$$

$$RAF = \frac{A / (1+B \cdot e^{-C \cdot X})}{A / (1+B \cdot e^{-C \cdot X})}$$

$$TAN = \frac{A \cdot B \cdot C \cdot e^{-C \cdot X} / (1+B \cdot e^{-C \cdot X})^2}{A / (1+B \cdot e^{-C \cdot X})}$$

Estos índices permiten el análisis cuantitativo del ciclo de vida de un organismo o de cierta fase fenológica y su correlación con los factores ambientales, que mediante curvas de crecimiento describe de forma gráfica la expresión matemática el comportamiento del crecimiento de un organismo o población (Hunt, 1982a, 2003c).

El crecimiento es una aproximación general e integral que permite comprender el cambio irreversible de materia como una función del genotipo y el complejo ambiental, donde se da un aumento cuantitativo del tamaño y peso de un organismo vivo, órgano o célula, que se puede definir como el aumento irreversible del tamaño, masa, forma que son generados por procesos de división celular, elongación, fotosíntesis y otros procesos fisiológicos, que permiten dar un crecimiento sin que aumente el tamaño, pero sí el número de las células, pero por otro lado se puede dar un crecimiento en tamaño pero con disminución del peso seco. (Kru, 1997; Gomes *et al.*, 1999; Salisbury y Ross, 2000; Hunt, 2003c).

Los procesos fisiológicos en las plantas son complejos y dependen directamente de la fotosíntesis, respiración, división celular, elongación entre otros procesos que generan un cambio morfológico, donde las curvas de crecimiento en los vegetales son un reflejo del comportamiento de una planta en un ecosistema con respecto al tiempo. Estos análisis son indispensables para garantizar una respuesta óptima, dado que permiten una aproximación cuantitativa del crecimiento de una planta o una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas (Clavijo, 1989); Hunt (1982a) menciona que son la expresión gráfica de una función matemática que permite describir el comportamiento del crecimiento de un organismo o población.

Las curvas de crecimiento, se forman por medio de índices que evalúan de manera cuantitativa el crecimiento de las plantas e involucran técnicas que mediante comparaciones permiten estudiar los patrones de crecimiento vegetal a través del seguimiento de la acumulación y la variación de peso seco y el área foliar en función del tiempo (Gardner *et al.*, 1990), cuya interpretación permite

describir el comportamiento del crecimiento de la planta, sus partes y las relaciones que se producen entre el aparato asimilatorio y la producción de biomasa (Evans, 1972).

Durante su desarrollo la planta acumula materia y su crecimiento se puede evaluar mediante el análisis de peso seco y área foliar en relación con el tiempo o curvas de crecimiento (Hunt, 1982a), al graficar esta información generalmente se obtiene una curva sigmoide en la que se reconocen tres fases: a) fase exponencial o logarítmica, donde el tamaño aumenta en forma exponencial con el tiempo y va desde la germinación hasta la etapa juvenil, b) la fase lineal donde se tiene una mayor demanda de agua y nutrimentos por lo que se genera su punto máximo de crecimiento vegetativo, c) la fase de estado constante o final donde se acumula la mayor cantidad de materia seca y disminuye la demanda de agua y nutrimentos manteniendo el crecimiento equilibrado con las pérdidas (Brown y Scott, 1986; Gardner *et al.*, 1990; Casierra-Posada *et al.*, 2003).

El análisis de crecimiento se puede basar directamente en la evolución de mediciones en el tiempo, e involucra técnicas mediante comparaciones que permiten estudiar los patrones de crecimiento vegetal, donde el método cuantitativo utiliza los índices fisiotécnicos que se establecen por mediciones básicas de peso total de la planta, peso seco de los diferentes órganos y el área foliar, que usan una función matemática adecuada que permita el ajuste de los valores registrados de manera que se aproxime a la curva real de crecimiento (Hunt, 1982a; Manrique, 1990), con estas medidas es posible calcular la tasa absoluta de crecimiento (TAC), la tasa de crecimiento relativo (TRC), la razón de peso foliar (RAF), la tasa de asimilación neta (TAN) e índice de área foliar (IAF) (Hunt, 1990b; Ascencio y Farga; 1973), que explican su eficiencia en acumular materia seca como producto de sus procesos metabólicos (Geraud *et al.*, 1995).

La tasa absoluta de crecimiento (TAC) es la medición de la velocidad del incremento en peso seco de la planta, donde se tiene un comportamiento ascendente durante la primera fase del desarrollo llegando a un punto máximo, donde el comienzo de la senescencia marca la caída y el descenso al ser menor

el crecimiento en comparación con la senescencia en este punto, siendo esto la relación entre ganancia de peso en función del tiempo expresada en  $\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$  y éste es considerado un índice de la productividad agrícola (Hunt, 1982a, 2003c; Milthorpe y Moorby, 1982). La tasa relativa de crecimiento (TRC) que es denominado el índice de eficiencia de producción, representa la eficiencia de la planta para producir nuevo material en un tiempo determinado y expresa el aumento de peso seco total por unidad de tiempo ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ), que registra mínimas variaciones durante su fase inicial y disminuye a medida que la edad de la planta aumenta (Sivori y Montaldi, 1980; Hunt, 1982a; Gardner *et al.*, 1985). La tasa de asimilación neta (TAN) es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio, siendo una medida indirecta de la fotosíntesis y expresa el aumento en peso seco total de la planta por unidad de superficie foliar y por unidad de tiempo ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ ) (Sivori y Montaldi, 1980; Hunt, 1982a; Beadle, 1988). La razón de área foliar (RAF) es la razón de material asimilatorio por unidad de material presente y expresa la relación que existe entre el área foliar total y el peso seco total por órgano de la planta ( $\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ).

#### **1.2.4 Dinámica Nutrimental**

La dinámica de los nutrientes minerales es una de las funciones del metabolismo vegetal y determina en gran medida la productividad en respuesta a los cambios en los factores ambientales, al relacionar la cantidad de nutrientes absorbidos por una planta y la concentración de estos en los tejidos, donde los estudios de absorción contabilizan de una forma u otra la extracción o consumo de nutrientes del cultivo (Bertsch, 2009).

Estos datos constituyen una herramienta de diagnóstico al proporcionar una medida real de los nutrientes que consume un cultivo para completar su ciclo de vida, donde pueden ser puntales como los que se refieren a requisitos totales y de cosecha o como curvas de absorción que evalúan todo el ciclo del cultivo (Bertsch, 2009).

Etchevers (2000) menciona que un análisis secuencial establece la dinámica de absorción hasta la madurez de la planta y se puede observar con la concentración y demanda nutrimental en las distintas fases fenológicas, lo que permite conocer los momentos adecuados para el suministro de fertilizantes, un análisis final del ciclo del cultivo proporciona información sobre la cantidad total de elemento absorbido por la planta, que permite determinar el requerimiento mínimo de nutrientes para alcanzar el rendimiento esperado.

Las curvas de absorción son una herramienta más completa que permite afinar los programas de fertilización y el manejo nutrimental Bertsch (2009):

**Curva de absorción de nutrientes:** con esta curva se conoce la dinámica de absorción de los diferentes nutrientes durante el ciclo de cultivo y su relación con las diferentes etapas fenológicas, con ella se pretende comparar de manera sencilla las distintas tendencias de absorción total y la absorción en cada tejido y con ello generar estrategias de manejo de la nutrición del cultivo.

**Curvas de absorción para determinar épocas de máxima absorción:** Con ella se pretende obtener los puntos cuando ocurren los momentos de máxima absorción en las diferentes partes de la planta, y con ello se obtendrá la información para determinar las épocas oportunas para la entrega de nutrientes durante el ciclo del cultivo.

**Curvas de absorción para evaluar translocación de nutrientes:** con ella se puede identificar la conducta de translocación de un nutriente cuando la curva de acumulación de éste decrece en un tejido, mientras asciende en otro.

**Curvas de absorción para incrementar la eficiencia de la fertilización con el tiempo:** Esta es de gran ayuda para cultivos de ciclos cortos y de fertilización intensiva, la curva de absorción permite un ajuste muy preciso entre la aplicación y el consumo de nutrientes.

**Curvas de absorción para comparación de variedades:** Con ella se determinan las diferencias de comportamiento fenológico y nutricional de variedades o híbridos de un mismo cultivo.

**Curvas de absorción para evaluar reciclaje de nutrimentos:** Con ella se observa en cual tejido se acumula preferentemente un nutriente y con esta información conocer si el nutriente saldrá del sistema con el producto cosechado o tendrá posibilidad de reciclarse al sistema.

En la agricultura intensiva se requiere de mayores flujos de nutrientes debido a las altas demandas de nutrimentos por parte de la planta, los cuales deben de ser aportados en cantidad y proporciones adecuadas por medio de iones asimilables (Castellanos, 2004; Ciampitti *et al.*, 2011).

La base de la fertilización de los cultivos se puede optimizar al ajustar la cantidad de fertilizante a utilizar, evitando deterioro y disminuyendo el impacto de la fertilización en el ambiente. La eficiencia de los nutrimentos aplicados está dada por la posibilidad de aplicarlos según la demanda de la planta (Volke *et al.*, 1997; Terry, 2008).

El análisis foliar ha sido una manera clásica de evaluar el estado nutrimental de los cultivos, pero Järvan and Poldman (2004) mencionan que el análisis foliar no refleja la interacción con otros nutrimentos, por lo que la evaluación de la planta completa proporciona, la información sobre la extracción nutrimental total en cultivos con una rápida producción de biomasa como las hortalizas, dado que los tejidos vasculares están en relación directa con la fuente y las zonas de demanda (Burgueño, 1994; Cadahía, 1998; Etchevers, 2000; Noh-Medina *et al.*, 2010).

Desde este punto de vista fisiológico, el manejo de la nutrición se convierte en un aspecto crucial para obtener el potencial máximo de producción de los genotipos, pero en pocas ocasiones se sigue un adecuado plan de fertilización que sea acorde a estos, debido a la generación constante de nuevos híbridos con características muy específicas en su manejo (Bautista y Alvarado, 2005; Quezada *et al.*, 2013). Por lo anterior, las curvas de extracción nutrimental

proporcionan la dinámica de absorción de nutrientes de acuerdo a un análisis secuencial para cada etapa fenológica, donde se contabilizan la extracción total de nutrientes con base a la producción de biomasa y su concentración en la planta, que permite establecer y ajustar los programas de fertilización con el fin de maximizar la eficiencia de la fertilización en los cultivos (Greenwood, 1983; Bertsch, 2009; Quezada *et al.*, 2013).

Los frutos son los principales órganos demandantes y compiten entre ellos regulando el crecimiento de los demás órganos (Steer y Person, 1976; Hall, 1977; Onis *et al.*, 2004), por lo que la demanda de cada cultivo está basada en la capacidad de absorber los nutrientes necesarios para obtener los rendimientos máximos posibles, estos contenidos totales pueden ser transformados a índices que pueden ser comparados con criterios de niveles críticos y rangos de concentración que permitan la sincronización entre el abastecimiento y la demanda del cultivo (Wild y Jones, 1992; Tagliavini *et al.*, 2004).

### **1.2.5 Extracción nutrimental del cultivo de pimiento**

Esta información se encuentra para muchas variedades de pimiento (Cuadro 3), pero dentro de una misma especie existen variaciones en la extracción de nutrientes, que depende de la tecnología de producción, condiciones de desarrollo, rendimientos, genotipos y órgano muestreado (Cuadro 2 y 4) (Trocme y Gras, 1979; Terbe *et al.*, 2006; Pineda-Pineda *et al.*, 2008; Bugarín *et al.*, 2011), por ello los estudios de absorción permiten establecer las bases para la fertilización (Volke *et al.*, 1997).

**Cuadro 2.** Requerimiento nutrimental de pimiento influenciado por la variedad y el rendimiento, adaptado por Terbe *et al.* (2006).

<b>Rendimiento t-ha<sup>-1</sup></b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
	<b>Kg·t<sup>-1</sup></b>		
<b>Menor a 10</b>	6 - 12.6	4.0 - 6.8	4.9 - 17.7
<b>Entre 10-50</b>	2.8 - 9.0	0.4 - 1.2	3.3 - 6.1
<b>Mayor a 50</b>	2.4 - 4.6	0.5 - 0.9	3.4 - 6.1
<b>Variedad Bloky mayor a 50</b>	2.4 - 4.6	0.5 - 0.9	3.4 - 6.1

Nota: Las concentraciones reportadas por los diferentes autores no indican la etapa fenológica en las que fueron tomadas las muestras.

**Cuadro 3.** Extracción de macronutrientos en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.), considerando la planta completa.

Autor	Genotipo empleado	t·ha <sup>-1</sup>	Extracción de nutrimento (Kg·ha <sup>-1</sup> )					Cantidad de nutrimento para producir una tonelada fruto (Kg)				
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Noroha, 2004	Chile Dulce	80.12	211.5	22.4	205	83.3	41.6	2.64	0.028	2.56	1.04	0.52
Castro, (2004)	Chile Pimiento	-----	-----	-----	-----	-----	-----	2.4	0.9	3.5	-----	-----
Azofeita y Moreira, 2005	Chile Dulce	46.3	139	26	180	38	13	3	0.56	3.89	0.82	0.28
Terbe <i>et al.</i> , 2006	Chile Pimiento	-----	-----	-----	-----	-----	-----	3	0.4	4.7	-----	-----
Charlo <i>et al.</i> , 2012	Chile Dulce	97.3	205.5	28.5	195	81.3	33.5	2.11	0.29	2	0.84	0.34
Hegde, 1997	Chile Pimiento	-----	-----	-----	-----	-----	-----	3.5	0.8	6	-----	-----
Escalona y Pire, 2008	Chile Pimiento en campo	-----	-----	-----	-----	-----	-----	6.6	0.72	6.45	2.79	1.26
Martinez, 2006	Chile Poblano	-----	-----	-----	-----	-----	-----	3.7	0.5	4	2.1	0.7
Valle, 2010	Pimiento Morrón	-----	-----	-----	-----	-----	-----	2.4	0.2	2.3	0.5	0.4

Nota: Las concentraciones reportadas por los diferentes autores no indican la etapa fenológica en las que fueron tomadas las muestras.

**Cuadro 4.** Requerimiento ( $\text{Kg}\cdot\text{t}^{-1}$ ) de pimiento, influenciado por la tecnología de producción, adaptado por Terbe *et al.* (2006).

Condición	Método de producción	N		P		K	
		HRF	Duna	HRF	Duna	HRF	Duna
		F <sub>1</sub>					
H	T2	2.5	3	0.4	0.5	4.7	4.1
	L	3.2	3.8	0.5	0.4	5.8	3.8
C	T2	2.8	3.4	0.3	0.4	4.2	4.5
	L	2.7	3.1	0.3	0.4	4.2	5.5
S	T2	2.4	3.3	0.3	0.4	4.5	5.2
	L	2.7	3.2	0.4	0.4	4.8	4.9

H: hidroponía, C: Contenedor, S: Suelo, T2: poda tipo holandesa, L: plantas desarrolladas libremente.

Nota: Las concentraciones reportadas por los diferentes autores no indican la etapa fenológica en las que fueron tomadas las muestras.

### 1.2.6 Unidades Calor

Wang (1960), menciona la importancia de la temperatura sobre el desarrollo de las plantas, al relacionar la duración del ciclo vegetativo con las temperaturas, donde un grado día o unidades calor, es una unidad que combina el tiempo y la temperatura para estimar el desarrollo de un organismo a partir de un punto a otro dentro del ciclo de vida.

Este indicador es una herramienta que permite anticiparse a los acontecimientos biológicos, ya que determina factores que inciden directamente sobre la productividad del cultivo (Prabhakar *et al.*, 2007), y aunque la acumulación de las unidades calor para las diferentes etapas de desarrollo es independiente de la fecha de siembra, de cada híbrido, de la variedad o cultivar y de la especie, puede tener valores específicos (Qadir *et al.*, 2006, Hoyos *et al.*, 2012).

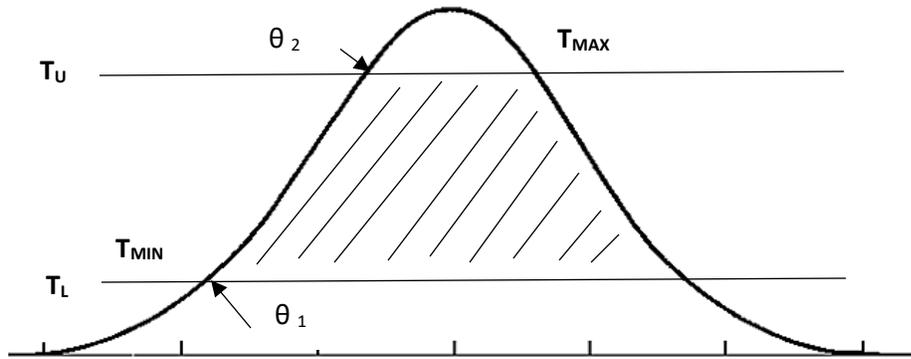
Existen varios métodos para calcular las unidades calor, los principales son el método del Seno Simple, Doble Seno, Triángulo Simple y Doble Triángulo (University of California, 1983).

El seno simple, es un método trigonométrico que ajusta algunas funciones seno a las temperaturas máximas y mínimas diarias, corrigiendo errores causados por los umbrales máximos y mínimos; esta metodología estima el área bajo la curva de la temperatura diaria, donde las unidades calor se determinan como el área dentro de la curva de seno que se encuentre sobre el límite inferior (Baskerville y Emin, 1968). El seno doble, tiene una única diferencia respecto al seno simple y es que sigue el ciclo diario de la temperatura donde la curva se construye con la temperatura máxima del día y la temperatura mínima del próximo día (Allen, 1976).

Los métodos de triangulación utilizan las temperaturas máximas y mínimas en un periodo de 24 horas, donde los valores de unidad calor son estimados entre los umbrales que caen dentro del triángulo resultante, pero el problema es que el área puede ser subestimada (Sevacherian, *et al.*, 1977).

### **Método del seno simple interceptado por ambos umbrales**

Mediante esta metodología se han corregido errores encontrados en otros métodos utilizando umbrales máximos y mínimos. Los umbrales varían según el organismo del que se trate, donde el umbral inferior de desarrollo es la temperatura por debajo de la cual el desarrollo del cultivo se detiene; el umbral de desarrollo superior es la temperatura sobre la cual la tasa de crecimiento o de desarrollo comienza a disminuir o detener (University of California, 1983).



$$UC = \frac{1}{\pi} \left[ \left( \frac{T_{MAX} + T_{MIN}}{2} - T_L \right) (\theta_2 - \theta_1) + \alpha (\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2)) + (T_U - T_L) \left( \frac{\pi}{2} - \theta_2 \right) \right]$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left[ \left( T_L - \frac{T_{MAX} + T_{MIN}}{2} \right) \div \alpha \right]$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left[ \left( T_U - \frac{T_{MAX} + T_{MIN}}{2} \right) \div \alpha \right]$$

La acumulación de unidades calor corresponde a las áreas sombreadas del diagrama donde:

**UC** = Unidades Calor.

**T<sub>L</sub>** = Temperatura umbral mínima

**T<sub>U</sub>** = Temperatura umbral máxima.

**T<sub>MIN</sub>** = Temperatura ambiental mínima.

**T<sub>MAX</sub>** = Temperatura ambiental máxima.

**α** = 0.05

Como se puede observar en el diagrama anterior, mediante esta metodología se estima el área bajo una curva de temperatura diaria dibujando una curva de seno en un periodo de 24 horas con las temperaturas máximas y mínimas diarias

### 1.3 LITERATURA CITADA

- Agrohuerto (2016). Pimiento. No. 106. Recuperado de: <https://tecnoagro.com.mx/revista/2016/no-106/pimiento/>.
- Alcántar G.G., Trejo-Téllez L.I., Fernández P., Rodríguez-Mendoza M.N. (2007). Elementos Esenciales. In: Nutrición de Cultivos. Alcantar GG, Trejo-Téllez L. (eds). México, D.F.: Editorial Mundi-Prensa. pp. 7-48.
- Allen, J.C., (1976). Modified sine wave method for calculating degree-days. *Environmental Entomology* 5, 388-98.
- Ascencio, J. y Fargas, J.F. (1973). Análisis del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. Var. Turrialba 4) cultivado en solución nutritiva. *Turrialba* 23(4), 420-428.
- Avitia-García, Edilberto, Pineda-Pineda, Joel, Castillo-González, Ana María, Trejo-Téllez, Libia I., Corona-Torres, Tarsicio, & Cervantes-Urbán, Elizabeth. (2014). Nutrient extraction in strawberry (*Fragaria x Ananassa* Duch.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 519-524.
- Azofeifa, A, y Moreira, M. (2005) Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annum* CV. UCR 589) en Alajuela, *Costa Rica Agronomía Costarricense*; 29, 77-84.
- Baskerville G.L. y Emin. (1968). La Estimación Rápida de acumulación de calor de Temperatura Máxima y Mínima. Forestry Branch, Departamento de Fisheries y Forestry, Fredericton, N.B.; y Universidad de New Brunswick Computing centre, Federación, N.B. (Received Abril 27, aceptado for publication November 25, 1968). 50, 514-517.
- Bautista, N. y J. Alvarado. 2005. Producción de jitomate envernadero. Mundi Prensa. Colegio de Postgraduados. México, D. F. 265 p.

- Beadle, C. L. (1988). Análisis del Crecimiento Vegetal. pp. 17-21. In: Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. Traducción al español de la 2da. Edición en inglés. Patrocinada por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) y Colegio de Postgraduados. Ed. Futura. Chapingo, México.
- Bertsch F. (2009), Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 308 p.
- Bortolotti M (2013) Red pepper: from the kitchen to the pharmacy. *Journal of Gastrointestinal and Liver Diseases*, 22, 253-256.
- Brown, D. A., Scott, H. D. (1986). Dependence of crop growth and yield on root development activity In: Roots nutrient and water influx, and plant growth. Special Bulletin No. 49. ASA. USA. 135 p.
- Bugarín M.B., Virgen P.M., Galvis S.A., García P.D., Hernández MT, Bojorquez SI, *et al.* (2011). Extracción de nitrógeno en seis especies olerícolas durante su ciclo de crecimiento. *Bioagro* 2011; 23(2), 93-98.
- Burgueño, H. (1994). La fertirrigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. Bursag. S.A. de C.V. vol III. Culiacán, Sinaloa, México. 70 p.
- Cadahia, C. (1998). Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundiprensa. Madrid. 463 p.
- Casierra-Posada, F., Cardozo, M. C., Cárdenas-Hernández, J. F. (2007). Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía Colombiana*, 25, 299-305. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180320296012>
- Castellanos, J. Z. (Ed.) (2004). Manual de producción hortícola en invernadero. 2da Edición. INTAGRI. Celaya, Guanajuato, México. 469 p.
- Castro B. R., Galvis S. A., Sánchez G., P., Peña L. A., Sandoval V. M., Alcantar G. G. (2004). Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(2), 147-152.

- Castro B.R., Sánchez G.P., Peña L.A., Alcántar G.G., Baca C.G., López R.R.M (2000). Niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de N-NO<sub>3</sub> en el extracto celular de pecíolos de tomate de cáscara. *Terra Latinoamericana*; 18, 141-145.
- Charlo H., Oliveira S.F., Vargas P.F, Castoldi R., Barbosa J.C., Braz L.T. (2012). Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber. *Horticultura Brasileira*; 30,125-131.
- Ciampitti, I. A. y F. O. Garcia: (2008) "Balance y eficiencia de uso de los nutrimentos en sistemas agrícolas", *Revista Horizonte*, 18: 22-28.
- Ciampitti, I. A., García, F. O., & Acassuso, B. A. (2011). requerimientos nutricionales Absorción y Extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Agronómicas* 37, 1-4.
- Clavijo, J. (1989). Análisis de crecimiento en malezas. *Revista Comalfi*: 15, 12-16.
- Epstein, E. (1972). *Mineral nutrition of plant: Principles and perspectives*. New York: Willey and Sons. 412 p.
- Escalona, A. y Pire, R. (2008). Crecimiento y extracción de N-P-K por plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) abonadas con estiércol de pollo en Quíbor, estado Lara, Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* 25, 243-260.
- Etchevers, B.J. (2000). Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra*, pp. 209-219.
- Evans, C. E. (1972). *The quantitative analysis of plant growth*. University of California Press. Berkeley. 253 p.
- FAOSTAT, (2015). Estadística. Recuperado de: <http://faostat3.fao.org/> Consulta 5 julio del 2016).

- Galvis S.A. Diagnóstico y simulación del suministro de nitrógeno edáfico para cultivos anuales (1998). (Tesis de Doctor en Ciencias). Especialidad en Edafología. Montecillo, Estado de México, México: Colegio de Postgraduados. 54 p
- Gardner F. P., Brent P. R., Mitchell R. I. (1990). Physiology of Crop Plants. Second Edition. 327 p
- Gardner F.P., Pearce R.B., Mitchell R.L. (2003) Physiology of cropplants. Blackwellpublishingcompany. Iowa, 326 p.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce and R.L. Mitchell. (1985). Physiology of crop plants. Iowa State University Press, USA, 325 p.
- Geraud, F., D. Chirinos, M. Marín y D. Chirinos. (1995). Desarrollo de la planta de tomate, *Lycopersicon esculentum* Miller, cv. Río Grande en la zona del río Limón del Estado Zulia, Venezuela. II. Índice de crecimiento relativo, razón de peso foliar y gamma. Rev. Fac. Agron. 12, 15-23.
- Gómez, C., Buitrago C., Cante M. y B. Huertas. (1999). Ecofisiología de papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para cultivo fresco y para la industria. Revista Comalfi 26(1-3), 42-55.
- González-Zamora A., Sierra E., Pérez R., Vázquez C., Gallegos M.A., López J.D., García-Hernández J.L. (2015). Measurement of capsaicinoids in chiltepin hot pepper: a comparison study between spectrophotometric method and high performance liquid chromatography analysis. Journal of Chemistry 2015, 1-10.
- Greenwood, D. J. (1983). Quantitative theory and the control of soil fertility. New Phytol. 94, 1–18.
- Güenkov, G. (1979). Fundamentos de la horticultura cubana. Ed. Instituto cubano del libro. La Habana, Cuba. 355 p.
- Hegde, D. M. (1988). Irrigation and nitrogen requirement of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). Ind. J. Agr. Sci. 58, 668-672.

- Hoyos García, D., Morales Osorio, J. G., Chavarría Ardila, H., Montoya Ríos, A. P., Correa Londoño, G., & Jaramillo Villegas, S. D. C. (2012). Growing degree days accumulation in a cucumber (*Cucumis sativus* L.) Crop Grown in an Aeroponic Production Model. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 65(1), 6389-6398.
- Huber, D.M. (1978). Disturbed mineral nutrition. pp. 163-181. In: J.G. Horsfall y E.B. Cowling (eds.). *Plant disease and advanced treatise*. Vol. 3. Academic Press, New York.
- Hunt, R. (1982a). *Plant Growth Curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis*. Edward Arnold (Publisher). L.T.D. London. 248 p.
- Hunt, R. (1990b). *Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners*. Unwin Hyman, Boston. 110 p.
- Hunt, R. (2003c). Growth analysis, individual plants. pp. 579-588. En: Thomas, B., D.J. Murphy y D. Murray (eds). *Encyclopaedia of applied plant sciences*. Academic Press, Londres.
- Järvan M., Poldma P. (2004): Content of plant nutrients in vegetables depending on various lime materials used for neutralising bog peat. *Agronomy Research*, 2, 39–48.
- Jiménez Fumero, M. (1992). Pimientos I Parte. *Horticultura* 83, 22-28.
- Kru, G.H. (1997). Environmental Influences on Development Growth and Yield. pp. 101-180. In: Wien, H.C. (ed.) *The physiology of vegetable crops*. CABI Publishing, London.
- Kvet, J., Ondok, J., Necas Y., Jarvis, P. (1971). Methods of growth análisis. *Plant photosynthetic production. Manual of methods*. W. Junk Publishers, The Hague, The Netherlands. pp 3434-391
- Manrique, L.A. (1990). Plant morphology of cassava during summer and winter. *Agron. J.* 82(5), 881-886.

- Marschner, H. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. Third edition. Academic Press, Inc. 889. San Diego, CA, USA. 672 p.
- Martínez A., N. (2006). Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile poblano (*Capsicum annuum* L. var. Grossum sendt), en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- Melgarejo Luz María, Romero Mauricio, Hernández Soledad, Barrera Jaime, Solarte María Elena, Suarez Diego, Pérez Victoria Laura, Rojas Andrea, Cruz Marisol, Moreno Leonardo, Crespo Sandra, Pérez Walter. (2010). Experimentos en Fisiología Vegetal. Universidad Nacional de Colombia primera edición. 227 p.
- Mendoza Malagon, O. S. C. A. R., & Lasso Mendoza, L. M. A (2004). Aplicacion de fertilizantes foliares mejorados con aminoacidos y potasio en plantas de chile pimiento morron (*Capsicum annuum* var. California wonder 300), en condiciones de invernadero. 139 p
- Milthorpe, F. L. y Moorby, J. (1982). Introducción a la fisiología de los cultivos. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 202 p.
- Nieves, G.F., S.G. Alejo, E.G. Luna, F.C. Lemus, L.P. Juárez y P.E. Salcedo. (2015). Extracción y requerimiento de fósforo en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) 'Big Brother'. Interciencia 40(4), 282-286.
- Noh-Medina, José; Borges-Gómez, Lizette; Soria-Fregoso, Manuel; (2010). Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Tropical and Subtropical Agroecosystems, mayo-agosto, pp. 219-228.
- Noronha, M.F., Villas, B.R., Grava, de G.L., Goto, R. (2004) Macronutrient accumulation and partioning in fertigated sweet pepper plants. Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.); 61(1), 62-68.

- Nuez, F., Gil, R y Costas, J. (1996). El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes. Ediciones MundiPrensa. Madrid. 607 p.
- Onis, A., Camelo, A. L., & Gómez, P. (1997). Efecto de la poda a dos y cuatro ramas sobre la producción de pimiento en invernáculo no calefaccionado. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Argentina. pp. 5-11
- Petri, J.L. (1993). Fisiología de la nutrición. En: González, H.; Ríos, J. & Restrepo, J.F. (eds.) Memorias I Simposio internacional sobre el manzano. Manizales: Manigraf, pp. 41-44.
- Pineda-Pineda, J., Avitia-García, E., Castillo-González, A.M., Corona-Torres T, Valdez-Aguilar LA, Gómez-Hernández J (2008). Extracción de macronutrientes en frambueso rojo. Terra Latinoamericana; 26, 333-340.
- Prabhakar, B.N., Halepyati A.S., Desai B.K., and. Pujari, B.T. (2007). Growing degree days and photo thermal units accumulation of wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. durum* Desf.) genotypes as influenced by dates of sowing. Karnataka Journal of Agricultural Sciences 20(3), 594-595.
- Qadir, G., Ahmad S., Hassan F. and Cheema M.A. (2006). Oil and fatty acid accumulation in sunflower as influenced by temperature variation. Pakistan Journal of Botany 38(4), 1137-1147.
- Quesada-Roldán, Gustavo; Bertsch-Hernández, Floria; (2013). Obtención de la curva de extracción nutrimental del híbrido de tomate FB-17. Terra Latinoamericana, enero-marzo 2013. pp. 1-8.
- Raddford, P.J. (1967). Growth analysis formula - their use and abuse. Crop Sci. 7(3), 171-175.
- Reche Mármol, José. (2010). Cultivo del pimiento dulce en invernadero. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, 2010.293 (Agricultura. Estudios e informes técnicos). 294 p.

- Reuter, D. J.; Robinson, J. B. (1986). Plant analysis: An interpretation manual. Inkata Press. Sidney, Australia. 572 p.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. (2000). Fisiología de las plantas. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Thompson Ediciones, Madrid. pp. 557-564.
- Santos M., Segura M., Ñuste C.E. (2010). Análisis de Crecimiento y Relación Fuente-Demanda de cuatro variedades de Papa en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Rev.Fac.Nal.Agr.Medellin. pp 1-14.
- Sevacherian V., Stern V.M, and Mueller, A.J. (1977). Heat Accumulation for Timing Lygus Control Measures in a Safflower-Cotton Complex. Department of 95 Entomology, University of California, Riverside 92521. Reprinted from the Journal of Economic Entomology. 70(4), 400.
- Sivori, M. E., Montaldi, R. E., Caso H. O. (1980). Fisiología vegetal. Ed. Hemisferio sur S. A. Buenos Aires, Argentina. 681 p.
- Steer, B. y Pearson, C. J. (1976). Photosynthate translocation in *Capsicum annuum* L. Planta 128, 155-162.
- Steer, B. y Pearson, C. J. (1976). Photosynthate translocation in *Capsicum annuum*. Planta 128, 155-162.
- Tagliavini, M., Balde, E.; Nestby, R., Raynal-Lacroix, C., Lieten, P., Salo, T., Pivot, D., Lucchi, P., Baruzzi, G. and Faedi, W. (2004). Uptake and partitioning of major nutrients by strawberry plants. Acta Horticulturae. 649,197-199.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2006) Plant physiology. 4th Edition, Sinauer Associates, Inc., Sunderland 651 p.
- Terbe I., Szabó Z.S., Kappel, N. (2006). Macronutrient accumulation in green pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by different production Technologies. International Journal of Horticultural Science 2006, 12: 13–19.

- Terry, L.R. (2008). Improving nutrient use efficiency. *Turkish Journal Agriculture and Forestry*. 32,177-182.
- Trocme, S., Gras, R. (1979). *Suelos y fertilización en fruticultura*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 388 p.
- University of California. (1983) Degree Day: The Calculation and Use of Heat Units in Pest Management. *Handbook of División of Agricultura and Natural Resources*. 11 p.
- Valentín-Miguel, M. C., Castro-Brindis, R., Rodríguez-Pérez, J. E., & Pérez-Grajales, M. (2013). Extracción de macronutrimientos en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 19(4), 71-78.
- Valle M.J.C. (2010). Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental (*Capsicum annuum* L.) Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- Vera-Guzmán A.M., Chávez-Servia J.L., Carrillo-Rodríguez J.C., López M.G. (2011) Phytochemical evaluation of wild and cultivated pepper (*Capsicum annuum* L. and *C. pubescens* Ruiz & Pav.) from Oaxaca, México. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71, 578-585.
- Volke, V., Etchevers, J.D., Sanjuan, A., Silva, T. (1997). Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. *Terra* 16, 79-91.
- Wild, A. y Jones, L. P. H. (1992). Nutrición mineral de las plantas cultivadas. In: condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Wild, A. (Ed). Mundi-Prensa. Madrid, España. 73119 p.
- Zayed, M.S., Hassanein, M.K.K., Nahed H.E. y Abdallah M.M.F. (2013). Productivity of pepper crop (*Capsicum annuum* L.) as affected by organic fertilizer, soil solarization, and endomycorrhizae. *Ann. Agric. Sci.* 58(2), 131-137. Doi: 10.1016/j.aogas.2013.07.011

**CAPITULO II**  
**DINÁMICA DE CRECIMIENTO**

# ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL PIMIENTO (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum)

## RESUMEN

Información sobre fisiología vegetal y su relación con el crecimiento y rendimiento permite diseñar programas de manejo acorde a los requerimientos específicos de cada cultivo, por lo que el análisis de crecimiento permite evaluar la distribución de la biomasa y calcular los índices de eficiencia fisiológica. Con el objetivo de conocer la dinámica de crecimiento y distribución de biomasa en los cultivares de pimiento con frutos tipo lamuyo y california durante un ciclo de 162 días, se estableció un experimento en sistema hidropónico abierto con la solución de Steiner y fibra de coco como sustrato. Se usó el diseño de bloques completo al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental fue una planta. Se determinó la acumulación de materia seca y el área foliar, las variables estudiadas fueron sometidas a análisis de varianza (ANOVA). Mediante regresión se estimaron los parámetros de modelos no lineales para realizar el análisis de crecimiento. Hasta las 100 unidades calor (UC) se observó crecimiento lento en todos los cultivares con una tasa de crecimiento absoluto menor a  $0.05 \text{ g}\cdot\text{UC}^{-1}$ , los valores máximos fueron observados entre 320 y 380 UC para cada cultivar. La mayor tasa de asimilación neta fue observada a las 280 UC para los cultivares más precoces con  $0.34 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{UC}^{-1}$ . Durante el inicio del ciclo de cultivo fue obtenida la mayor tasa de crecimiento relativo con un valor de  $16.52 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{UC}^{-1}$  y la mayor relación de área foliar con  $172.42 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ .

**PALABRAS CLAVES:** Dinámica de crecimiento, distribución de biomasa, índices de eficiencia fisiológica, unidades calor, pimiento.

# ANALYSIS OF GROWTH OF PEPPER (*Capsicum annuum* var Botany Grossum)

## ABSTRACT

Information on plant physiology and its relation to growth and yield allows to design management programs according to the specific requirements of each crop, so that the growth analysis allows to evaluate the biomass distribution and calculate the physiological efficiency indexes. In order to know the dynamics of growth and distribution of biomass in pepper cultivars with Lamuyo and California type fruits during a cycle of 162 days, an experiment was established in an open hydroponic system with Steiner's solution and coconut fiber as a substrate. The randomized complete block design was used with four repetitions, the experimental unit was a plant. The accumulation of dry matter and the foliar area was determined, the variables studied were subjected to analysis of variance (ANOVA). By means of regression the parameters of nonlinear models were estimated to perform the growth analysis. Up to 100 Heat units (HU), slow growth was observed in all cultivars with an absolute growth rate lower than  $0.05 \text{ g}\cdot\text{HU}^{-1}$ , maximum values were observed between 320 and 380 HU for each cultivar. The highest net assimilation rate was observed at 280 HU for the earliest cultivars with  $0.34 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{HU}^{-1}$ . During the beginning of the crop cycle, the highest relative growth rate was obtained with a value of  $16.52 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{UC}^{-1}$  and the highest leaf area ratio with  $172.42 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ .

**KEYWORDS:** Growth dynamics, biomass distribution, physiological efficiency indices, heat units, pepper.

## 2.1 INTRODUCCIÓN

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) pertenece a la familia *solanaceae* y junto al tomate es el cultivo que más superficie ocupa bajo condiciones de invernadero (FAOSTAT, 2015), la superficie destinada a su cultivo varía según el uso en las distintas comunidades. Dentro de este cultivo se incluyen los llamados pimientos, ajís, morrones, ajíes picantes, chilis, paprikas y otras especies difundidas como pimientos picantes con menor área de siembra y comercio como lo son: *Capsicum baccatum*, *Capsicum chinense*, *Capsicum frutescens* y *Capsicum pubescens* (Nuez *et al.*, 1996).

Las hortalizas de fruto destinadas a siembra bajo condiciones de invernadero se caracterizan por poseer crecimiento indeterminado, su ciclo de cultivo está definido por las características climáticas de la región, por lo que el rendimiento está determinado por la capacidad de acumular materia seca en los órganos destinados a la cosecha, donde la cantidad, tamaño, forma y posición en la planta determina la fuerza y distribución de fotoasimilados para la formación de biomasa (Peil y Gálvez, 2005; Osone *et al.*, 2008; Medina, 2010).

El manejo agrícola de los pimientos es conocido, sin embargo, se dispone de poca información sobre la fisiología relacionada con su crecimiento y rendimiento para los cultivares que poseen frutos tipo california y lamuyo, donde los procesos fisiológicos en las plantas son complejos y dependen directamente de la fotosíntesis, respiración, división celular, elongación, entre otros procesos que generan un cambio morfológico (Taiz y Zeiger, 2006), por lo que el análisis de desarrollo de la planta por medio de las curvas de crecimiento, representa el comportamiento de una planta en un ecosistema con respecto al tiempo, permitiendo diferenciar la duración del ciclo, la definición de las etapas de desarrollo y la distribución de fotoasimilados por órganos, fundamentando con ello las prácticas de manejo del cultivo (Azofeifa y Moreira, 1998; Hunt 2003b).

En ese sentido Hunt (2003b), menciona que el análisis de crecimiento es una herramienta que permite generar información sobre ello, al evaluar los cambios

de biomasa en la planta durante su ciclo y define al crecimiento como una aproximación explicativa e integral, que permite comprender el cambio irreversible de materia como una función del genotipo y el ambiente, donde se da un aumento cuantitativo del tamaño y peso de un organismo vivo, órgano o célula. Por su parte, Werner y Leihner (2005), mencionan que el crecimiento se puede manifestar como un aumento irreversible de la masa que debe ser permanente, con lo cual se elimina la variación causada por fenómenos osmóticos.

El análisis de crecimiento se practica de dos maneras distintas, la primera es el análisis clásico donde se tiene medidas o datos en función de tiempos largos en un gran número de muestras, con las que se generan funciones paramétricas flexibles que describen y explican el crecimiento y desarrollo por medio de la elaboración de curvas de crecimiento, la segunda consiste en el análisis funcional o dinámico que comprende medidas en intervalos de tiempo más frecuentes y en pequeñas poblaciones (Hunt, 2003b; Melgarejo *et al.*, 2010).

Por su parte, Di Benedetto & Tognetti (2016), mencionan que la metodología del análisis de crecimiento clásico ha sido extensamente utilizada en estudios ecológicos y fisiológicos básicos, pero que también se ha aplicado a la producción de vegetales bajo cultivos extensivos, donde diversos factores han contribuido a esta situación, tales como la complejidad en el manejo de algunos cultivos, a las épocas de cosecha, debido a que ésta puede darse en un estado avanzado del ciclo de vida de la planta que ha dejado de crecer exponencialmente (Di Matteo, 2015; Di Benedetto *et al.*, 2015b). El análisis de crecimiento vegetal posee sus propios conceptos, términos y herramientas de cálculo, por lo que se han desarrollado técnicas matemáticas de análisis a partir de mediciones de área foliar, peso fresco y/o seco de los diferentes órganos, que mediante comparaciones permite estudiar los patrones de crecimiento y calcular los índices de eficiencia fisiotécnicos tales como la tasa de fijación de carbono, tasa de crecimiento absoluto, tasa de crecimiento relativo, tasa de asimilación neta, razón de área foliar, índice de área foliar, la distribución de los foto asimilados en la planta entre otros que han servido como base del desarrollo de modelos de

crecimiento generales (Hunt, 2003b; Fourcaud *et al.*, 2008; Di Benedetto & Tognetti, 2016).

La acumulación de biomasa como materia seca de una planta u órgano, se asemeja a una curva sigmoidea donde se pueden reconocer tres fases: la primera fase exponencial o logarítmica que va desde la germinación hasta la etapa juvenil, la segunda donde la acumulación se vuelve lineal y se obtiene la mayor demanda de agua y nutrimentos y por último se tiene la fase de estado constante o final donde se acumula la mayor cantidad de materia seca y disminuye la demanda de agua y nutrientes hasta alcanzar su nivel máximo (Hunt, 1982a, 2003b; Casierra-Posada *et al.*, 2007; Posada y Cardozo, 2009; Filho *et al.*, 2009), donde la pendiente (primer derivada) de esta curva representa la tasa de crecimiento absoluto (TAC) para cualquier instante en el tiempo y define el incremento de peso seco de material vegetal por unidad de tiempo ( $\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$ ) y se caracteriza por tener un comportamiento ascendente durante la primera fase del desarrollo hasta alcanzar un valor máximo, considerado un índice de productividad al relacionar la ganancia de peso en función del tiempo donde la senescencia marca la caída de esta tasa (Hunt, 1982a, 2003b, Di Benedetto & Tognetti, 2016).

Según Di Benedetto & Tognetti (2016), la tasa de crecimiento relativo (TCR) es el concepto central del análisis de crecimiento y es ampliamente empleada en producciones intensivas y representa la acumulación de biomasa durante la fase juvenil de la planta u órgano y suele representar las diferencias significativa entre especies, debido a la dinámica de acumulación exponencial de la biomasa y se define como el incremento de material vegetal por unidad de materia vegetal existente por unidad de tiempo ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ) y representa matemáticamente la pendiente de la ecuación que relaciona el logaritmo natural del peso seco total con el tiempo transcurrido (Gweyi-Oniyango *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2015; Di Benedetto & Tognetti, 2016).

La tasa de asimilación neta (TAN) como componente fisiológico es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio, siendo una medida indirecta de la

fotosíntesis y expresa el aumento en peso seco total de la planta por unidad de superficie foliar y por unidad de tiempo ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ ) y la razón de área foliar (RAF) como componente morfológico, expresa la relación que existe entre el área foliar total y el peso seco total por órgano de la planta ( $\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ), ambos reflejan la capacidad de producción de fotoasimilados a través del mecanismo fotosintético, y su distribución dentro de la planta depende de la capacidad de fijación del dióxido de carbono y su distribución entre los distintos órganos de la planta (Osone *et al.*, 2008; Zotarelli *et al.*, 2008; Di Benedetto *et al.*, 2013a; Di Benedetto & Tognetti, 2016).

Los mecanismos que controlan la fuerza de demanda de los órganos generan la distribución de los fotoasimilados y modifican cuantitativamente la acumulación de biomasa entre el sistema radical y la parte aérea de la planta (Enquist *et al.*, 2007). Por su parte, Grechi *et al.* (2007), mencionan que la distribución de los fotoasimilados está mediada por señales endógenas propias del genotipo que depende de estímulos ambientales.

Si el estudio se basa en un conjunto de cultivares de la misma especie, se puede investigar cuáles son las variables asociadas a la velocidad de crecimiento entre los cultivares por medio de los índices fisiotécnicos, donde los componentes morfológicos como la RAF, pueden explicar la variación en sus tasas de crecimiento y la TAN como componente fisiológico es importante a la hora de explicar la diferencia en TRC entre los cultivares como respuesta a los cambios en el balance hormonal que se encuentra asociado al aumento en la TAN (Nouvellon *et al.*, 2010; Di Benedetto y Pagani, 2013; Di Benedetto *et al.*, 2013a, 2015b; Di Benedetto & Tognetti, 2016).

La disponibilidad de paquetes computacionales de análisis estadísticos ha permitido modelar la acumulación sigmoideal de la biomasa de los datos sucesivos en el tiempo y ajustarlos a funciones curvilíneas continuas, que se denominan análisis funcional de crecimiento (Di Benedetto & Tognetti, 2016). Las funciones más empleadas son las polinómicas de diversos grados (Pooter y Lewis, 1986); logística (Verhulst, 1838), mononuclear (Richards, 1959), y para su empleo se

hace un análisis particular probando distintas funciones y eligiendo aquella que presente un mejor ajuste a los datos, evaluado la bondad de ajuste ( $R^2$ ) (Posada y Rosero, 2007; Wubs *et al.*, 2012), no obstante, se debe tener en cuenta que el análisis funcional del crecimiento no deja de ser una generalización de los mismos conceptos del análisis clásico (Pommerening y Muszta, 2015; Di Benedetto & Tognetti, 2016).

Con base a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el patrón de crecimiento, definir las principales etapas fenológicas y a partir de los índices fisiotécnicos, determinar la distribución de la biomasa para estimar la eficiencia fisiológica y su relación fuente-demanda en los cultivares de *Capsicum annuum* variedad botánica grossum con frutos tipo california y lamuyo, que sirva de referencia para la toma de decisiones en el manejo del cultivo en invernadero e hidroponía, que permita la oportuna y adecuada realización de actividades en el manejo del cultivo.

## 2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.2.1 Localización

La investigación se realizó de mayo a noviembre de 2016 en un invernadero de cubierta plástica, con ventilación cenital y lateral, ubicado en el campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en 19° 29' 24.1" LN, 98° 52' 25.0" LO, y 2240 msnm, con un clima Cb(wo)(w)(i') g (García, 1988).

### 2.2.2 Características del sustrato y contenedor

El Cuadro 5, muestra las características físicas del sustrato de fibra de coco en contenedores de polietileno extruido, bicolor, ultra violeta (UV), calibre 400, con 15 L capacidad, 70 % de fibra cortada y 30 % de polvillo, 5 kg de peso seco, pH de 6.3 a 6.7, CE de 1.2 – 1.7 mS·cm<sup>-1</sup> y contenido de cloruros 5.86 meq·L<sup>-1</sup>, sodio 8.85 meq·L<sup>-1</sup>, calcio y magnesio 1.3 meq·L<sup>-1</sup>.

**Cuadro 5** Características físicas del sustrato fibra de coco, tamizado en estructuras rectangulares en un contenedor de polietileno extruido de dimensiones de 100x20x17 cm.

	Dap (g·cm <sup>-3</sup> )	CRH	EPT	CA	AFD (%)	AR	ADD	ATD
<b>Fibra de coco</b>	0.06	37.54	74.20	36.66	7.64	3.69	26.21	11.33

Dap: densidad aparente, CRH: capacidad de retención de humedad, EPT: espacio poroso total, CA: capacidad de aireación, AFD: agua fácilmente disponible, AR: agua de reserva, ADD: agua difícilmente disponible, ATD: agua total disponible.

### 2.2.3 Tratamientos y diseño experimental

Fueron evaluados seis tratamientos, cada uno consistió en un cultivar, dos con fruto tipo Lamuyo y cuatro con fruto tipo California de los cuales dos fueron de color rojo y dos de color amarillo (Cuadro 6), la unidad experimental fue una planta. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

**Cuadro 6.** Características de los híbridos de chile pimiento (*Capsicum annuum* var botánica grossum) utilizados en el experimento.

	<b>Crecimiento</b>	<b>Tipo de fruto</b>	<b>Forma del fruto</b>	<b>Tamaño del fruto</b>	<b>Color del fruto</b>	<b>Ciclo#</b>
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	Indeterminado	Lamuyo	Cónico	G*	Verde -Rojo	90 - 100
<b>Cortes F<sub>1</sub></b>	Indeterminado	Lamuyo	Cónico	G	Verde -Rojo	90 - 100
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	Indeterminado	California	Cuadrado	G	Verde - Amarillo	90 - 100
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	Indeterminado	California	Cuadrado	G	Verde - Amarillo	90 - 100
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	Indeterminado	California	Cuadrado	G	Verde -Rojo	90 - 100
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	Indeterminado	California	Cuadrado	G	Verde -Rojo	90 - 100

Fuente: Harris Moran seed Company, Clause Vegetable Seeds y Seminis.

# Días de siembra a cosecha, \* Grande.

### 2.2.4 Variables evaluadas

Se realizaron 12 muestreos destructivos con intervalos de 14 días a partir del trasplante y hasta los 162 ddt, se tomó una planta completa, la cual se fraccionó en sus órganos aéreos (tallo, hoja, flores y frutos). Las variables evaluadas en cada muestreo fueron: altura de planta (cm) medida a partir del nudo cotiledonar al meristemo apical más alto, diámetro de tallo (mm) en el nudo cotiledonar, número de hojas expandidas, área foliar (cm<sup>2</sup>) con integrador Delta-TMK2, materia seca (g) de tallo, hojas y frutos mediante deshidratación de material

vegetal a 70 °C durante 72 horas. Para el cálculo de las unidades calor (UC), se utilizó la Metodología de la University of California, Agriculture and Natural Resources (2017), bajo el criterio de que la temperatura umbral mínima del cultivo de pimiento es superior a la temperatura mínima del ambiente y la temperatura umbral máxima es inferior a la temperatura máxima ambiental de tal manera que la planta presente crecimiento.

Para realizar el análisis de crecimiento se determinaron los índices fisiotécnicos: Tasa de crecimiento absoluto (TAC), Tasa de crecimiento relativo (TRC), Tasa de asimilación neta (TAN), Razón de área foliar (RAF) mediante el modelo propuesto por Richard (1959), los cuales fueron ajustados a un modelo de regresión no lineal con el modelo logístico propuesto por Rodríguez *et al.* (2006), mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System University Edition (SAS, 2015).

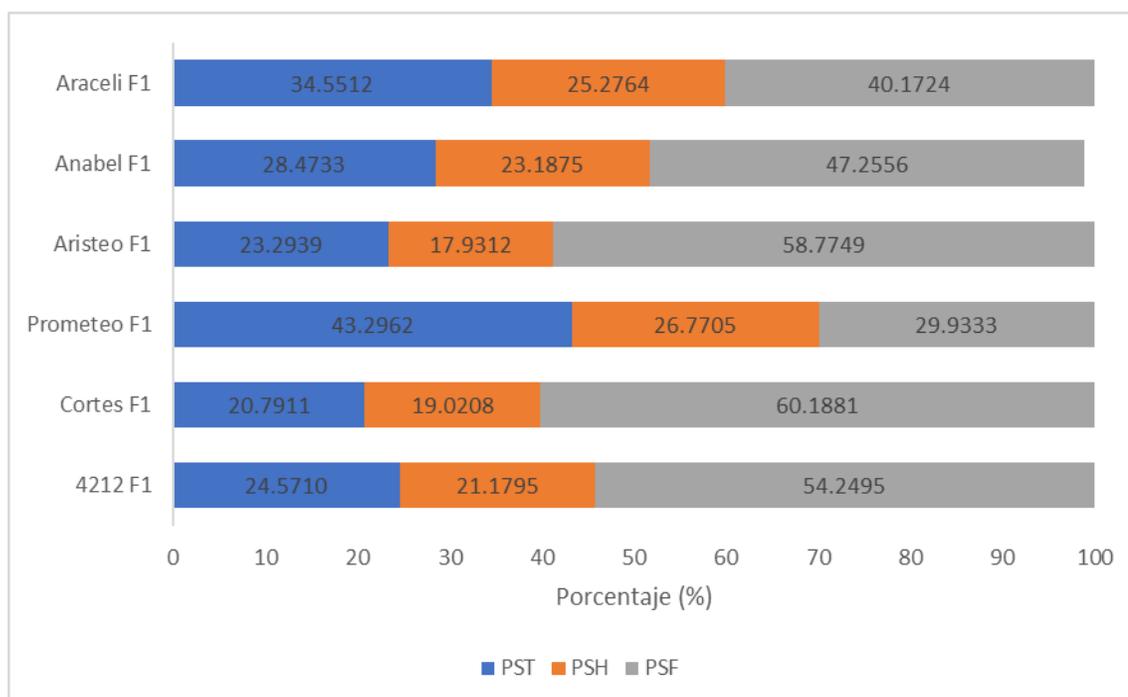
### **2.2.5 Manejo del Cultivo**

La siembra se realizó en charolas de poliestireno expandido de 60 cavidades, se utilizó turba como sustrato. Cada tercer día se aplicaron riegos ligeros con agua y a partir de los 10 días hasta el trasplante se regó con solución nutritiva de Steiner (1984) a 25 % de su concentración; desde el trasplante hasta inicio de fructificación se aplicó la solución al 75 %, a partir de ahí se aplicó la concentración al 100 %. El trasplante se realizó el 29 de mayo de 2016, 36 días después de siembra (dds), en las tablas de fibra de coco, las plantas fueron colocadas a una distancia de 0.45 m y de 1.4 m entre hileras, lo que equivale a una densidad de población de 1.6 plantas·m<sup>-2</sup>. El día del trasplante se aplicó 40 mL en la base de la planta de la mezcla de agua y Cyacypyr, en dosis de 400 mL·ha<sup>-1</sup>, para control de *Bemisia tabacci*, *Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia argentifolii*, del orden Lepidóptera y trips, en la misma mezcla se aplicó Etridiazole (1 g·L<sup>-1</sup>) para el control del marchitamiento causado por hongos fitopatógenos en la parte radical de la planta.

Treinta días después del trasplante (ddt), se aplicó nuevamente Cyacypyr en dosis de  $350 \text{ mL}\cdot\text{ha}^{-1}$  en el sistema de riego, el tutorado tipo holandés se empezó a los 20 ddt, se realizaron 3 podas las cuales fueron contempladas en biomasa total. Se hicieron aplicaciones preventivas para Botrytis, con Procloraz ( $2 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ ), con intervalos de 20 días.

## 2.3 RESULTADO Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra la distribución porcentual promedio de materia seca de los órganos de la parte aérea, los cultivares Araceli F<sub>1</sub> y Prometeo F<sub>1</sub> presentan mayor porcentaje de materia seca en tallo con valores de 34.55 y 43.29 %, respectivamente, debido a que fueron los últimos en alcanzar su máxima tasa de crecimiento en relación con los otros cultivares. El cultivar 4212 F<sub>1</sub> con la menor área foliar presentó alto porcentaje de materia seca en hoja (21.17 %), aunque no se midió el espesor de las hojas, se puede asumir por este dato que posee hojas de mayor espesor en relación con los otros cultivares. La mayoría de los cultivares tienen porcentajes más bajos de materia seca en relación a otros tipos de pimientos, como los obtenidos por Gasga *et al.* (2006) en chile manzano, Valentin *et al.* (2011) en chile de agua, Romero *et al.* (2013) en chile miahuateco; esto puede ser debido al tipo de poda holandesa que se dio en este experimento, ya que esta canaliza los fotoasimilados hacia los frutos, por lo que se notó una influencia significativa del crecimiento de los frutos sobre el patrón de crecimiento de la parte aérea de la planta.

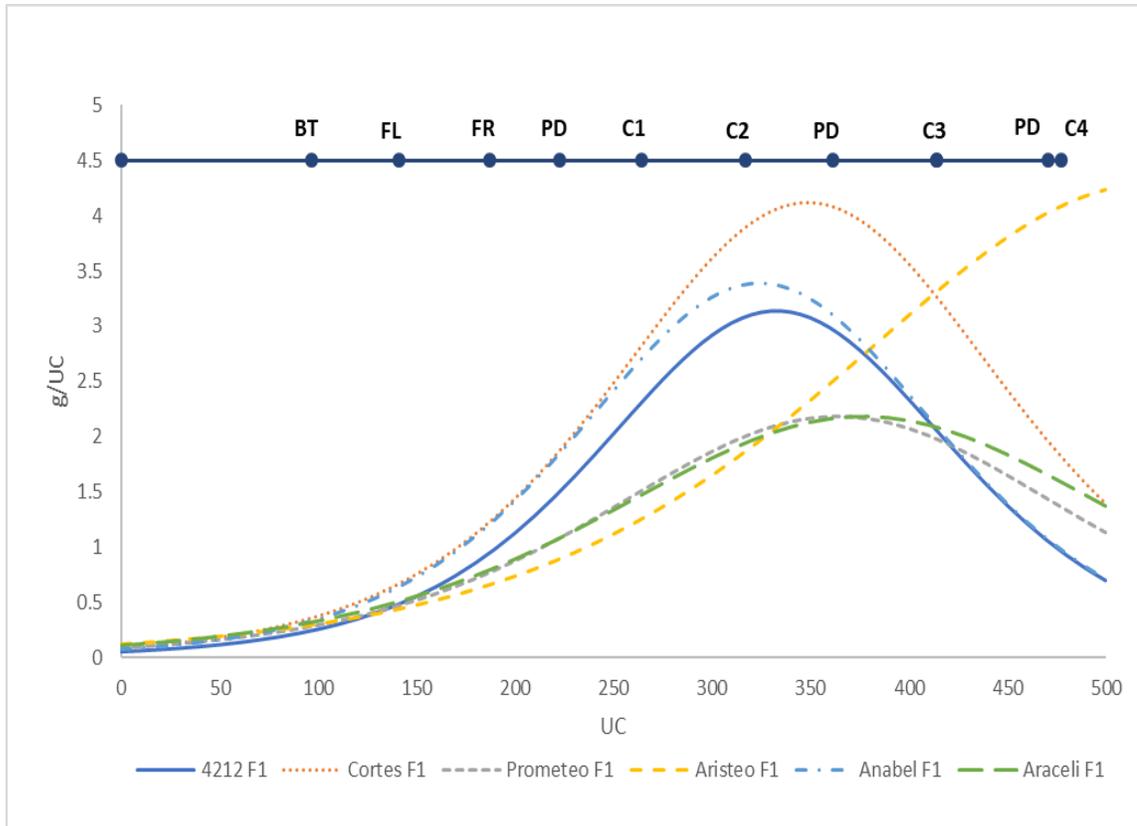


**Figura 1.** Comparación de acumulación de materia seca promedio por planta de pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). PST: peso seco de tallo, PSH: peso seco de hoja, PSF: peso seco de fruto. Chapingo, México, 2016.

Para todos los cultivares se presentó una fase de crecimiento lento hasta la primera bifurcación del tallo (100 UC), donde se obtuvieron valores promedios menores de  $0.05 \text{ g}\cdot\text{UC}^{-1}$  en la parte aérea de la planta (Figura 2), datos que son similares a los obtenidos por Ayala (2012). A partir de las 140 UC, los cultivares presentaron dinámicas de crecimiento diferentes por efecto de la presencia de los frutos en la planta; resultados similares fueron obtenidos por Niklas *et al.* (2008); John *et al.* (2013); Feller *et al.* (2013), estudios realizados por Jackson y Coombe, (1966) y Kinet y Peet, (1997).

Para los cultivares tipo lamuyo, 4212 F<sub>1</sub> alcanzó su máxima TAC a las 330 UC con valores de  $3.14 \text{ g}\cdot\text{UC}^{-1}$  y Cortés F<sub>1</sub> que alcanzó su máxima TAC a las 350 UC con  $4.12 \text{ g}\cdot\text{UC}^{-1}$ , debido al crecimiento de los frutos, presentó frutos con un peso promedio de 271.16 g y longitudes de 18.2 cm en comparación con los 253.51 g y longitudes de 16.4 cm de 4212 F<sub>1</sub> (Figura 2). Ho *et al.* (1989) mencionan que entre más rápido se alcance el máximo valor de la TAC durante el ciclo de desarrollo, se tendrá mayor eficiencia en el uso de agua, nutrimentos y capacidad de acumular fotoasimilados para la producción de biomasa, no obstante, la acumulación total de biomasa en estos cultivares al final del experimento no presentó diferencias significativas.

En cultivares tipo california Anabel F<sub>1</sub> presentó la mayor eficiencia en producción de biomasa a las 320 UC, con valores máximos de TAC de  $3.39 \text{ g}\cdot\text{UC}^{-1}$  (Figura 2). Aristeo F<sub>1</sub> alcanzó su mayor TAC ( $4.23 \text{ g}\cdot\text{UC}^{-1}$ ) a las 500 UC, pero no alcanzó su máximo valor al no concluir su fase de crecimiento lineal durante el periodo del experimento (Figuras 2). Prometeo F<sub>1</sub> y Araceli F<sub>1</sub>, presentaron su máxima TAC a las 370 y 380 UC con valores de  $2.18$  y  $2.19 \text{ g}\cdot\text{UC}^{-1}$  (Figura 2), esto debido probablemente a los cambios en la dinámica de crecimiento de la planta a partir del momento en que aparecieron los frutos, los cuales presentan madures fisiológica escalonada muy marcada en comparación con los dos cultivares anteriores.



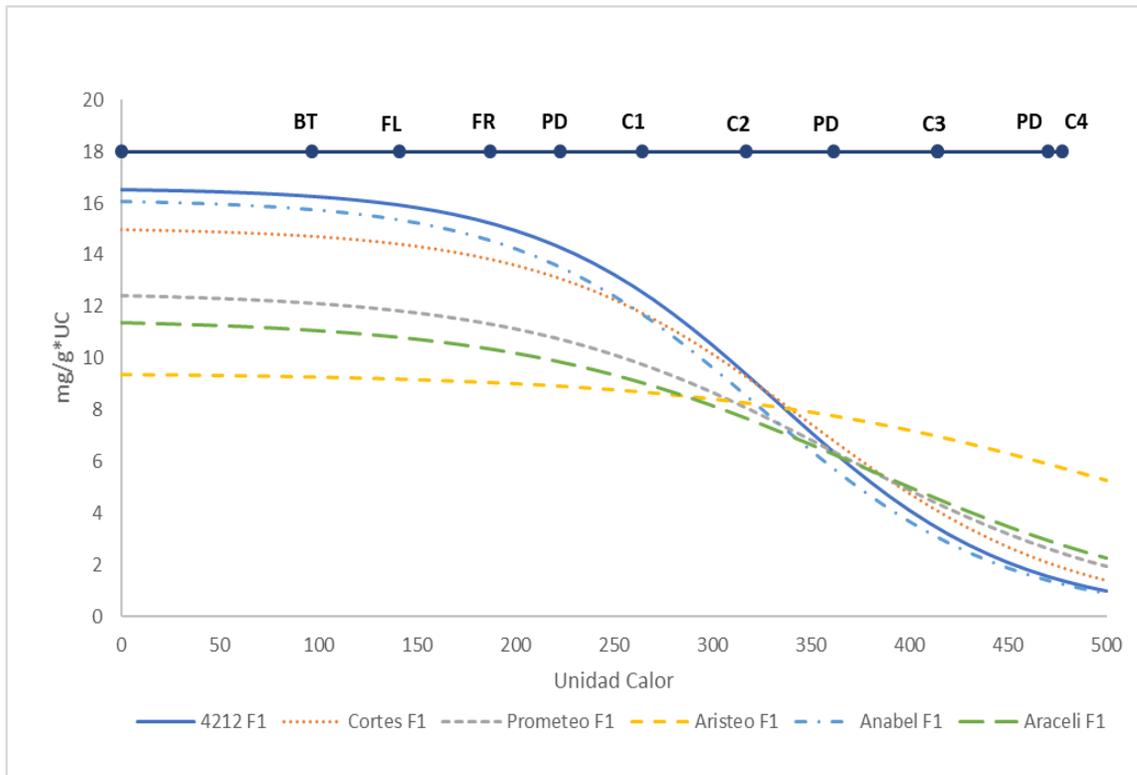
**Figura 2.** Tasa absoluta de crecimiento planta completa, durante el ciclo de cultivo del pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.

Al inicio del ciclo la TRC para todos los cultivares presentó los valores máximos, esto debido a la alta actividad fotosintética, meristemática y asimiladora para producir nueva biomasa, que conforme avanza el ciclo del cultivo tiende a disminuir (Figura 3); estos resultados son similares a los obtenidos por Gasga *et al.* (2006); Martínez *et al.* (2006); Gweyi-Onyango *et al.* (2009); Martínez, (2010); Valentín *et al.* (2013); Vargas-Canales *et al.* (2014); Zhang *et al.* (2015). Este comportamiento de valores altos de TRC y baja TAC (Figura 2) durante las primeras 100 UC indican que probablemente el mayor crecimiento se da en la parte radicular.

Villar *et al.* (2004) mencionan que valores altos de TRC durante los primeros estadios de la planta, pueden reflejar la diferencia en la eficiencia de producir material nuevo entre cultivares, en un periodo de tiempo determinado. En los cultivares tipo lamuyo, 4212 F<sub>1</sub> es el cultivar que presentó la mayor TRC con valor

de  $16.51 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{UC}^{-1}$  (Figura 3), mientras que en los tipos california Anabel F<sub>1</sub> presentó la mayor eficiencia en producción de biomasa con valores de TRC de  $16.06 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{UC}^{-1}$ . Aristeo F<sub>1</sub> presentó una TRC con variaciones mínimas hasta las 320 UC (Figura 3), el cual se caracterizó por presentar un alto rendimiento al final; Hoffmann y Poorter (2002) mencionan que, si la TRC es constante, significa que el crecimiento se mantiene exponencial (Figura 2).

La velocidad de decremento de TRC para todos los cultivares se aumentó a partir de la etapa de fructificación (Figuras 3), esto puede ser debido al tipo de poda holandesa que se realizó, ya que ésta dirige los fotoasimilados principalmente hacia los frutos (Onis *et al.*, 1997), ya que éstos se convierten en los órganos más demandantes de fotoasimilados, como lo demuestran los estudios realizados por Beese *et al.* (1982); Teasdale y Abudul-Baki, (1997); Osone *et al.* (2008); Poorter *et al.* (2009); Martínez, (2010) y Vargas-Canales *et al.* (2014) y la dinámica de crecimiento de la planta se determina por la presencia de los frutos.



**Figura 3.** Tasa relativa de crecimiento planta completa, durante el ciclo de cultivo del pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.

En todos los cultivares se obtuvo la máxima TAN (Figura 4) durante la etapa de crecimiento y llenado de frutos, comportamientos similares obtuvieron Gasga *et al.* (2006); Hamilton *et al.* (2011) y Valentín *et al.* (2013).

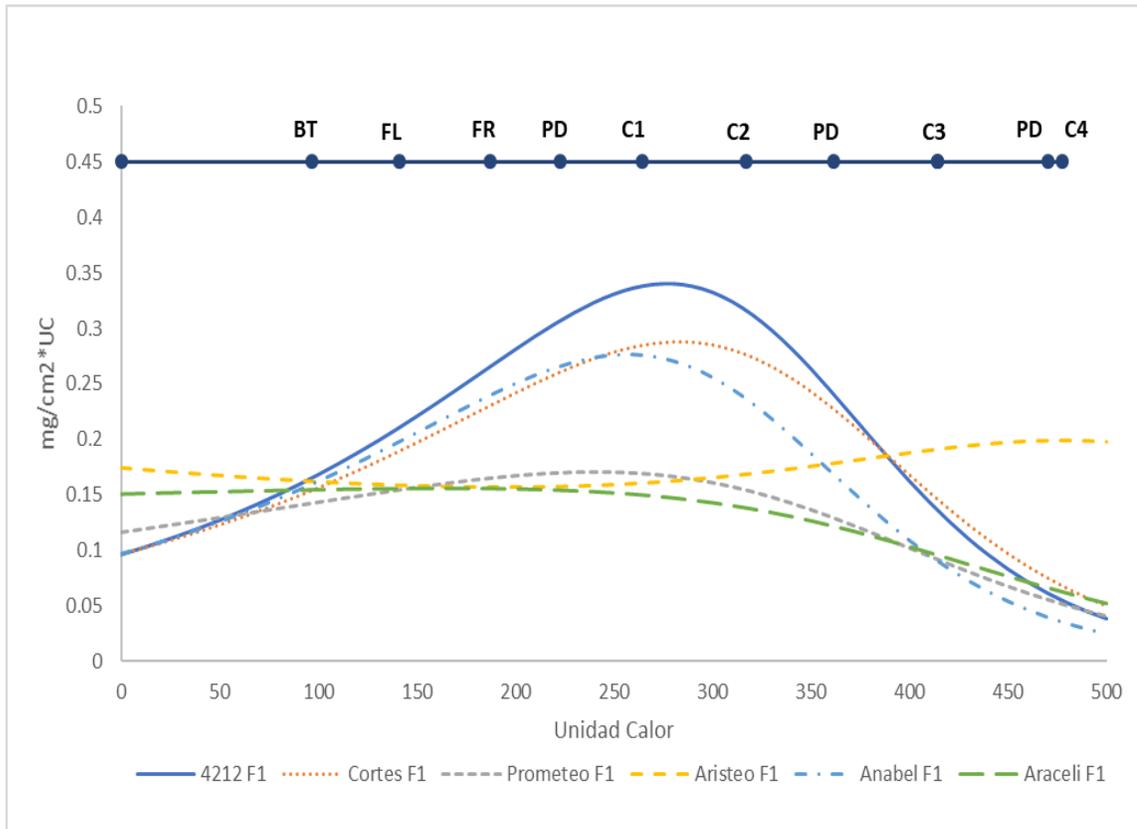
Para ambos cultivares tipo lamuyo la máxima TAN se obtuvo a las 280 UC, que corresponden a la etapa de madurez fisiológica y cambio de pigmentación de los primeros frutos, así como al permanente desarrollo vegetativo de la planta, estimulado por la cosecha de los frutos. El cultivar 4212 F<sub>1</sub> presentó la menor área foliar respecto de Cortés F<sub>1</sub>, pero presentó TAN máxima de 0.34 mg·cm<sup>-2</sup>·UC<sup>-1</sup> frente a los 0.28 mg·cm<sup>-2</sup>·UC<sup>-1</sup> de Cortés F<sub>1</sub> (Figura 4), lo anterior indica que posee mayor capacidad de síntesis de fotoasimilados (Hunt, 2003b). Para los cultivares tipo california, Anabel F<sub>1</sub> presentó la mayor TAN con valores de 0.27 mg·cm<sup>-2</sup>·UC<sup>-1</sup> a las 260 UC, mientras que Aristeo F<sub>1</sub> presentó un aumento a partir de las 265 UC que corresponde a la etapa de primer corte (Figura 4), que estimuló el crecimiento vegetativo, como se observa en el incremento de la TAC (Figura 2).

Bidwell (2002) menciona que conforme avanza el ciclo del cultivo se genera un decremento de la TAN (Figura 4) de tallo y hojas, debido al envejecimiento presentado por las hojas y la redistribución de fotoasimilados de las hojas adultas hacia la base del tallo y la raíz.

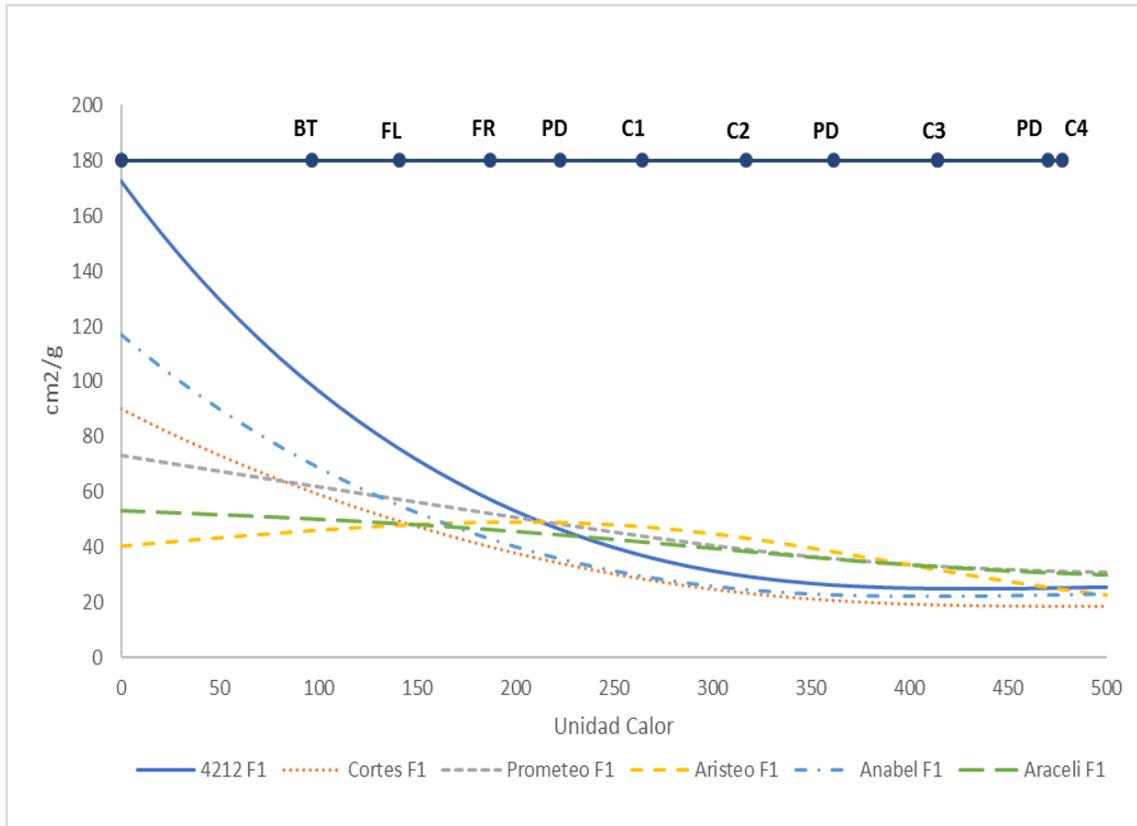
Los altos valores de RAF observados al inicio del ciclo (Figura 5), pueden estar relacionados con la tendencia de las plantas a captar radiación luminosa y procesar fotoasimilados, los cuales son necesarios para desarrollar un sistema de raíces que les permitan establecerse en el medio de crecimiento (Villar *et al.*, 2004). 4212 F<sub>1</sub> es el cultivar que presentó la mayor RAF con valores de 172.42 cm<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>.

Durante todo el ciclo los cultivares presentaron un comportamiento poco variable en RAF, debido a que se disponía de una mayor área foliar por cada gramo de materia seca, comportamientos similares fueron obtenidos por Besse *et al.* (1982); Hedge (1997) y Gasga *et al.* (2006).

Se puede asumir que, durante la madurez comercial, donde los frutos se vuelven los órganos más demandantes, la RAF presentará un decremento mayor debido a la presencia de menor área foliar por cada gramo de fruto producido.



**Figura 4.** Tasa de asimilación neta planta completa, durante el ciclo de cultivo del pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.



**Figura 5.** Razón de área foliar planta completa, durante el ciclo de cultivo del pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.

## 2.4 CONCLUSIONES

Durante el ciclo de 162 días después del trasplante (ddt) correspondiente a 500 unidades calor (UC) se identificaron en pimiento tipo lamuyo y california, las etapas fenológicas de: bifurcación del tallo principal (97 UC, 23 ddt), floración (141 UC, 36 ddt), inicio de fructificación (187 UC, 50 ddt) y madurez fisiológica (260 UC, 79 ddt) a partir de la cual se realizaron cuatro cortes de frutos hasta el final del ciclo.

El diámetro de tallo, altura de planta y número de frutos en pimiento, depende de la dinámica de distribución de fotoasimilados para la generación de biomasa y la fuerza de demanda de los órganos.

Los índices de eficiencia fisiológica permitieron conocer el comportamiento diferente entre cultivares tipo lamuyo y california, 4212 F<sub>1</sub> presentó los mayores índices de tasa absoluta de crecimiento ( $3.14 \text{ g}\cdot\text{UC}^{-1}$ ), tasa de crecimiento relativo ( $16.51 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{UC}^{-1}$ ), tasa de asimilación neta ( $0.34 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{UC}^{-1}$ ) y razón de área foliar ( $172.42 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ), lo que permitirá diseñar técnicas de manejo específico para cada tipo en función de su comportamiento.

## 2.5 LITERATURA CITADA

- Ayala Villegas, M. J. (2012). Análisis del crecimiento y calidad de semillas de tres tipos de chile (*Capsicum annuum* L.). 114p.
- Azofeifa, A., y Moreira, M. (1998). Análisis del crecimiento del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivar UCR 589 en Alajuela, Costa Rica. Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit M. 31(1), 1-12.
- Beese F., Horton R., Wierenga, P. J. (1982). Growth and yield response of chilipepper to trickle irrigation. *Agronomy Journal* 74:556-561 Iowa State University Press. AMES. USA. pp. 98-208.
- Bidwell, R. G. S. (2002). Fisiología Vegetal. 3ª reimpresion en español. A. G. T. Editor, S. A. de C. V. México. 784 p.
- Casierra-Posada, F., Cardozo, M. C., Cárdenas-Hernández, J. F. (2007). Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía Colombiana*, 25, 299-305. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180320296012>
- Castilla N., Montero, J.I. (2008). Environmental control and crop production in Mediterranean greenhouses. Invited lecture. *Acta Horticulturae*. 797, 25-36.
- Di Benedetto, A, & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(3), 258-282. Recuperado en 18 de septiembre de 2017, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1669-23142016000300007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142016000300007&lng=es&tlng=es).
- Di Benedetto, A., Galmarini, C., Tognetti, J. (2015b). Effects of combined or single exogenous auxin and/or cytokinin applications on growth and leaf area development in *Epipremnum aureum*. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 90 (6), 643-654.
- Di Benedetto, A., Galmarini, C.; Tognetti, J. (2013a). Changes in leaf size and in the rate of leaf production contribute to cytokinin- mediated growth

- promotion in *Epipremnum aureum* L. cuttings. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 88 (2), 179-186.
- Di Benedetto, A., & Pagani, A. (2013). Dry weight accumulation in the *Impatiens walleriana* pot plant in responses to different pre-transplant plug cell volume. *European Journal of Horticultural Science* 78 (2), 76-85.
- Di Mateo, J., Rattin, J., Di Benedetto, A. (2015). Increase of spinach growth through the use of larger plug cell volume and an exogenous BAP spray. *American Journal of Experimental Agriculture* 6 (6), 372-383.
- Enquist, B.J., Kerkhoff, A.J., Stark, S.C., Swenson, N.G., McCarthy, M.C.; Price, C.A. (2007). A general integrative model for scaling plant growth, carbon flux, and functional trait spectra. *Nature* 449 (7159), 218-222.
- FAOSTAT, (2015). Estadística. Recuperado de: <http://faostat3.fao.org/> Consulta 5 julio del 2016).
- Feller, C., Favre, P., Janka, A., Zeeman, S.C., Gabriel, J.P., Reinhardt, D. (2015). Mathematical modeling of the dynamics of shoot-root interactions and resource partitioning in plant growth. *Plos One* 10 (7), 127905.
- Fourcaud, T., Zhang, X., Stokes, A., Lambers, H., Körner, C. 2008. Plant growth modelling and applications: The increasing importance of plant architecture in growth models. *Annals of Botany* 101 (8), 1053-1063.
- García, E. (1988). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. México, D. F. 219 p.
- Gweyi-Onyango, J.P., Neumann, G., Roemheld, V. (2009). Effects of different forms of nitrogen on relative growth rate and growth components of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *African Journal of Horticultural Science* 2, pp. 43-55
- Grechi, I., Vivin, P.H., Hilbert, G., Milin, S., Robert, T., Gaudillere, J.P. (2007). Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of

- root-to-shoot biomass allocation in grapevine. *Environmental and Experimental Botany* 59 (2), 139-149.
- Gasga P. R. (2006). Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 62 p.
- Gweyi-Onyango, J.P., Neumann, G., Roemheld, V. (2009). Effects of different forms of nitrogen on relative growth rate and growth components of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *African Journal of Horticultural Science* 2, 43-55.
- Hamilton César de O Charlo, Sueyde F. de Oliveira; Renata Castoldi; Pablo F. Vargas; Leila T Braz; José Carlos Barbosa. (2011) Growth analysis of sweet pepper cultivated in coconut fiber in a greenhouse. *Hortic. Bras.* [online]. 29(3), 316-323. ISSN 0102-0536.
- Hedge, D. M. (1997). Nutrient Requirements of Solanaceous Vegetables Crops.
- Ho, L. C., Grange, R. I., Shaw, A. F. (1989). Source/sink regulation, pp. 306-343. In: Transport of Photoassimilates. Baker, D.; Millburn, J. A. (eds.). Longman Scientific and Technical. Exxex, U K.
- Hoffmann, W.A., Poorter, H. (2002). Avoiding bias in calculations of relative growth rate. *Annals of Botany* 90 (1), 37-42.
- Hunt, R. (1982a). Plant Growth Curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis. Edward Arnold (Publisher). L.T.D. London. 248 p.
- Hunt, R. (2003b). Growth analysis, individual plants. pp. 579-588. En: Thomas, B., D.J. Murphy y D. Murray (eds). *Encyclopaedia of applied plant sciences*. Academic Press, Londres.
- Jackson, D.I. y B.G. Coombe (1966). The growth of apricot fruit. I. Morphological changes during development and the effects of various tree factors. *Australian Journal of Agricultural Research* 17, 465-77.

- John, G.P., Scoffoni, C., Sack, L. (2013). Allometry of cells and tissues within leaves. *American Journal of Botany* 100 (10), 1936-1948.
- Kinet, J. y M. Peet, Tomato. (1997). En: H.C. Wien (ed). *The physiology of vegetable crops*. Wallingford, Cabi Publishing. pp. 207 - 258.
- Martínez A., N. Castro-Brindis, R., Rodríguez-Perez, J.E., Pérez-Grajarles (2006). Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile poblano (*Capsicum annuum* L. var. Grossum sendt), en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- Martínez S., D. (2010). Colecta, caracterización morfológica y análisis de crecimiento de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) Tesis de Doctorado. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 129 p.
- Medina N, Borges GJ, Soria FL. (2010). Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, pp. 219-228.
- Melgarejo Luz María, Romero Mauricio, Hernández Soledad, Barrera Jaime, Solarte María Elena, Suarez Diego, Pérez Victoria Laura, Rojas Andrea, Cruz Marisol, Moreno Leonardo, Crespo Sandra, Pérez Walter. (2010). *Experimentos en Fisiología Vegetal*. Universidad Nacional de Colombia primera edición. 227 p.
- Metodología para el cálculo de Unidades Calor diseñada por la University of California, Agriculture and Natural Resources, empleada en el SIMARBC. (2017, abril 1). Recuperado de <http://www.simarbc.gob.mx/#gallery>.
- Niklas, K.J., De Mason, D.A., Cobb, E.D. (2008). Genetic effects on the biomass partitioning and growth of *Pisum* and *Lycopersicon*. *American Journal of Botany* 95 (4), 424-433.

- Nuez, F., Gil, R y Costas, J. (1996). El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes. Ediciones MundiPrensa. Madrid. 607 p.
- Onis, A., Camelo, A. L., & Gómez, P. (1997). Efecto de la poda a dos y cuatro ramas sobre la producción de pimiento en invernáculo no calefaccionado. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Argentina. pp. 5-11.
- Osoné, Y., Ishida, A. Tateno, M. (2008). Correlation between relative growth rate and specific leaf area requires associations of specific leaf area with nitrogen absorption rate of roots. *New Phytologist* 179 (2), 417-427.
- Peil, R. y J.R. Gálvez. (2005). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Rev. Bras. Agrociência* 11(1), 5-1
- Pommerening, A., Muszta, A. (2015). Methods of modelling relative growth rate. *Forest Ecosystems* 2 (1): 5.
- Poorter, H., Lewis, C. (1986). Testing differences in relative growth rate: A method-avoiding curve fitting and pairing. *Physiologia Plantarum* 67 (2), 223-226.
- Poorter, H., Böhler, J., Van Dusschoten, D., Climent, J., Postma, J.A. (2012). Pot size matters: a meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology* 39 (11), 839-850.
- Posada, F. C., & Cardozo, M. C. (2009). Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv.'Quindío') cultivados a campo abierto. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(1), 4815.
- Reche Mármol, José. (2010). Cultivo del pimiento dulce en invernadero. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, 2010.293 (Agricultura. Estudios e informes técnicos).
- Richards, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10 (2), 290-300.

- Rodríguez P., J. E.; Sahagun C., J.; Mora A., R.; Gasga P., R. (2006). Programas de cómputo para la estimación de parámetros de regresión no lineal útiles en el análisis de crecimiento de cultivos. 52da reunión anual de la Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical. Sep. pp 24-30. San Juan, Puerto Rico.
- Romero-Escobedo, M.B. (2013). Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental de chile miahuateco (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Maestría. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 66 p.
- SAS (Statistical Analysis System) (2015) User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA. 803 p
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2006) Plant physiology. 4th Edition, Sinauer Associates, Inc., Sunderland 651 p.
- Teasdale j. R., Abdul-baki. (1997). Growth analysis of tomatoes in black polyethylene and hairy vetch productions systems. HortScience 32, 659-663
- Valentín-Miguel, M. C., Castro-Brindis, R., Rodríguez-Pérez, J. E., & Pérez-Grajales, M. (2013). Extracción de macronutrimientos en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Revista Chapingo. Serie horticultura, 19(4), 71-78.
- Vargas-Canales, J.M., Castillo-González, Ana María, Pineda-Pineda, J., Ramírez-Arias, J.A., Avitia-García, E. (2014). Extracción nutrimental de Jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. Revista Chapingo Serie Horticultura 20(1), 71-88.
- Verhulst, P.F. 1838. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement [A note on population growth]. Correspondence Mathematiques et Physiques 10,113-121.
- Villar, R., T. Marañón, J. L. Quero, P. Panadero, F. Arenas y M. Lambers. (2004) Variation in growth rate of 20 *Aegilops* species (Poaceae) in the field: The impotence of net assimilation rate or specific leag rea depends or the time scale. Plant and Soil 000: pp 1-17.

- Werner, R. y D. Leihner. (2005). Análisis del crecimiento vegetal. pp. 4-20. Villalobos R.E. (ed.). Volumen siete. Editorial Universidad de Costa Rica, Turrialba. 41 p.
- Zhang, D., zhang, Z., Li, J., Chang, Y., Du, Q., Pan, T. (2015). Regulation of vapor pressure deficit by greenhouse micro- fog systems improved growth and productivity of tomato via enhancing photosynthesis during summer season. Plos One, 10(7), 133919.
- Zotarelli, L., Dukes, M.D., Scholberg, J.M., Hanselman, T., Femminella L.E., K.; Muñoz-Carpena, R. 2008. Nitrogen and water use efficiency of zucchini squash for a plastic mulch bed system on a sandy soil. Scientia Horticulturae 116 (1), 8-16.

## **CAPITULO III**

### **EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL**

# EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DEL PIMIENTO (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum)

## RESUMEN

La información sobre la absorción y extracción nutrimental en relación con las etapas fenológicas del cultivo de pimiento con fruto tipo Lamuyo y California, permite diseñar programas de fertilización acorde a sus requerimientos específicos. El objetivo de este estudio fue determinar y analizar la absorción y distribución de los nutrimentos extraídos por la planta de pimiento en diferentes etapas fenológicas, durante 162 días de cultivo. Se estableció un sistema hidropónico abierto con la solución nutritiva de Steiner en fibra de coco como sustrato. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se realizaron 12 muestreos a intervalos de 14 días en los que se determinó peso seco y el contenido de N, P, K, Ca y Mg de la parte aérea de la planta. Con base en ello se estimó la tasa de extracción y absorción de N, P, K, Ca y Mg de la parte aérea de la planta. La extracción nutrimental ( $\text{g-planta}^{-1}$ ) obtenida en cada cultivar al final del ciclo de crecimiento fue: 4212 F<sub>1</sub>: 19.72, 1.45, 40.37, 1.84, 3.22, Cortes F<sub>1</sub>: 25.10, 2.25, 59.97, 2.98, 2.29, Prometeo F<sub>1</sub>: 12.61, 1.78, 20.65, 1.90, 2.14, Aristeo F<sub>1</sub>: 11.98, 1.78, 17.43, 1.93, 2.12, Anabel F<sub>1</sub>: 20.00, 1.99, 33.04, 2.04, 1.96, Araceli F<sub>1</sub>: 14.12, 1.36, 20.65, 1.51, 2.12 de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. La máxima tasa de extracción de nutrimentos por etapa fenológica fue variable entre cultivares tipo Lamuyo y California. Dentro de los cultivares tipo California las tasas de extracción por etapa fenológica variaron entre el color rojo y amarillo.

**PALABRAS CLAVES:** Tasa de extracción, tasa de asimilación neta, unidades calor.

## EXTRACTION OF MACRONUTRIMENTS FROM PEPPER (*Capsicum annuum* var Botany Grossum)

### ABSTRACT

The information on nutrient absorption and extraction in relation to the phenological stages of the pepper with Lamuyo and California type fruits, allows to design fertilization programs according to their specific requirements. The objective of this study was to determine and analyze the absorption and distribution of nutrients extracted by the pepper plant in different phenological stages, during 162 days of cultivation. An open hydroponic system was established with the nutrient solution of Steiner in coconut fiber as a substrate. A randomized complete block design with four replications was used. 12 samplings were carried out at 14-day intervals in which the dry weight and the N, P, K, Ca and Mg content of the plant area were determined. Based on this, the rate of extraction and absorption of N, P, K, Ca and Mg from the aerial part of the plant was estimated. The nutrimental extraction ( $\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$ ) obtained in each cultivar at the end of the growth cycle was: 4212 F<sub>1</sub>: 19.72, 1.45, 40.37, 1.84, 3.22, Cortes F<sub>1</sub>: 25.10, 2.25, 59.97, 2.98, 2.29, Prometheus F<sub>1</sub> : 12.61, 1.78, 20.65, 1.90, 2.14, Aristeo F<sub>1</sub>: 11.98, 1.78, 17.43, 1.93, 2.12, Anabel F<sub>1</sub>: 20.00, 1.99, 33.04, 2.04, 1.96, Araceli F<sub>1</sub>: 14.12, 1.36, 20.65, 1.51, 2.12 N, P, K, Ca and Mg, respectively. The maximum rate of extraction of nutrients by phenological stage was variable between type Lamuyo and California cultivars. Within the California type cultivars, the extraction rates by phenological stage varied between red and yellow.

**KEYWORDS:** Extraction rate, assimilation rate, heat units.

### 3.1 INTRODUCCIÓN

El manejo y control nutrimental de un cultivo requiere de información sobre absorción y extracción nutrimental en sus diferentes etapas fenológicas, información esencial para establecer el plan de fertilización que permita alcanzar el mayor rendimiento y calidad posible (Bertsch, 2009). Por lo tanto, la extracción nutrimental y su relación con el rendimiento potencial en el cultivo de pimiento son elementos que permitirán diseñar el programa de fertilización específico, acorde a los requerimientos de los cultivares con frutos tipo Lamuyo y California (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum).

El manejo de la nutrición se convierte en un aspecto crucial para obtener el potencial máximo de producción de los genotipos, pero en pocas ocasiones se sigue un adecuado plan de fertilización que sea acorde a estos, debido a que se presentan diferencias en el patrón de absorción a través del ciclo de crecimiento, dependiendo de las condiciones ambientales y de manejo, por lo que la extracción y distribución de nutrientes varía de un ciclo a otro y dentro del mismo cultivo, entre cultivares, tipos y órganos de la planta (Ciampitti y García, 2008; Bugarin *et al.*, 2011; Quezada *et al.*, 2013; Gonzales-Zamora *et al.*, 2105).

La fertilización de los cultivos debe estar acorde al requerimiento nutrimental durante el ciclo fenológico de éstos, por lo que el análisis nutrimental de la planta entera es importante para calcular la demanda nutrimental al existir alta relación entre el contenido de nutrimentos en los tejidos y el rendimiento; ya que la relación entre la fuente y las zonas de demanda en la planta es directa, es decir, se debe calcular la cantidad de nutrimentos que la planta debe extraer e incorporar a sus tejidos para alcanzar los rendimientos esperados (Järvan and Poldman, 2004; Noh-Medina *et al.*, 2010; Reyes *et al.*, 2014; Mendoza *et al.*, 2015).

Bertsch (2009) menciona que las curvas de extracción establecen de manera teórica la cantidad mínima de nutrimentos que deben suministrarse durante el desarrollo fenológico del cultivo, no obstante, Salazar y Juárez (2013),

mencionan que las curvas de extracción son un aproximado de la demanda nutrimental en función de la etapa fenológica del cultivo, que indica la época de mayor absorción, por su parte Nieves *et al.* (2015), mencionan que las tasas de absorción son de utilidad para el aporte de nutrimentos y agua de acuerdo con las exigencias en las diferentes etapas.

Por medio del análisis de modelos de crecimiento de cultivos, es posible identificar las etapas de mayor absorción de cada nutrimento y determinar la cantidad extraída por planta en una etapa determinada, y obtener con ello curvas de extracción nutrimental, que permiten definir el programa de fertilización adecuado, realizar ajustes precisos para maximizar la eficiencia de los fertilizantes en el sistema de producción, y obtener el máximo rendimiento deseado. (Pineda-Pineda *et al.*, 2008; Zayed, 2013; Avitia *et al.*, 2014; Puentes *et al.*, 2016).

A partir de las diferencias observadas en el análisis de crecimiento para *Capsicum annuum* var Botánica Grossum, a lo largo del ciclo del cultivo, el objetivo de la presente investigación fue determinar la extracción y la tasa absoluta de extracción en diferentes etapas fenológicas y construir la curva de extracción de nutrimentos (N, P, K, Ca y Mg) en el cultivo del pimiento variedad botánica Grossum, que permita generar programas de fertilización acorde a las necesidades nutrimentales en cada etapa del cultivo.

## 3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.2.1 Localización

La investigación se realizó de mayo a noviembre de 2016 en un invernadero de cubierta plástica, con ventilación cenital y lateral, ubicado en el campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en 19° 29' 24.1" LN, 98° 52' 25.0" LO, y 2240 msnm, con un clima Cb(wo)(w)(i) g (García, 1988).

### 3.2.2 Características del sustrato y contenedor

El Cuadro 7 muestra las características físicas del sustrato de fibra de coco en contenedores de polietileno extruido, bicolor, ultra violeta (UV), calibre 400, con 15 L capacidad, 70 % de fibra cortada y 30 % de polvillo, 5 kg de peso seco, pH de 6.3 a 6.7, CE de 1.2 – 1.7 mS·cm<sup>-1</sup> y contenido de cloruros 5.86 meq·L<sup>-1</sup>, sodio 8.85 meq·L<sup>-1</sup>, calcio y magnesio 1.3 meq·L<sup>-1</sup>.

**Cuadro 7.** Características físicas del sustrato fibra de coco, tamizado en estructuras rectangulares en un contenedor de polietileno extruido de dimensiones de 100x20x17 cm.

	Características físicas							
	Dap <sup>#</sup> (g·cm <sup>-3</sup> )	CRH	EPT	CA	AFD (%)	AR	ADD	ATD
<b>Fibra de coco</b>	0.06	37.54	74.20	36.66	7.64	3.69	26.21	11.33

<sup>#</sup>Dap: densidad aparente, CRH: capacidad de retención de humedad, EPT: espacio poroso total, CA: capacidad de aireación, AFD: agua fácilmente disponible, AR: agua de reserva, ADD: agua difícilmente disponible, ATD: agua total disponible.

### 3.2.3 Tratamientos y diseño experimental

Fueron evaluados seis tratamientos, cada uno consistió en un cultivar, dos con fruto tipo lamuyo y cuatro con fruto tipo california, de los cuales dos fueron de color rojo y dos de color amarillo (Cuadro 8), la unidad experimental fue una planta. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

**Cuadro 8.** Características de los híbridos de chile pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum) utilizados en el experimento.

	Crecimiento	Tipo de fruto	Forma del fruto	Tamaño	Color	Ciclo#
4212 F <sub>1</sub>	Indeterminado	Lamuyo	Cónico	G*	Verde - Rojo	90 - 100
Cortes F <sub>1</sub>	Indeterminado	Lamuyo	Cónico	G	Verde - Rojo	90 - 100
Prometeo F <sub>1</sub>	Indeterminado	California	Cuadrado	G	Verde - Amarillo	90 - 100
Aristeo F <sub>1</sub>	Indeterminado	California	Cuadrado	G	Verde - Amarillo	90 - 100
Anabel F <sub>1</sub>	Indeterminado	California	Cuadrado	G	Verde - Rojo	90 - 100
Araceli F <sub>1</sub>	Indeterminado	California	Cuadrado	G	Verde - Rojo	90 - 100

Fuente: Anónimo (s.f), dossier Harris Moran seed Company, Clause Vegetable Seeds y Seminis.#  
Días de siembra a cosecha, \* Grande.

### 3.2.4 Variables evaluadas

Se realizaron 12 muestreos destructivos con intervalos de 14 días a partir del trasplante y hasta los 162 ddt, en cada muestreo se consideró tomar una planta completa la cual se separó en sus órganos aéreos (tallo, hoja, flores y frutos). Las variables evaluadas en cada muestreo fueron: materia seca (g) de tallo, hojas, frutos y total, mediante deshidratación de material vegetal a 70°C durante 72 horas.

El índice de cosecha biológico se obtuvo al considerar el peso seco de los frutos respecto de la materia seca total de la planta, mientras que el índice de cosecha

comercial se obtuvo por el número de frutos que obtuvieron características comerciales respecto de la materia seca total.

Los análisis químicos para determinar el contenido (%) de nutrimentos se realizó en el laboratorio de Nutrición Vegetal del Departamento de Suelos y en el Laboratorio Nacional de Investigación y Servicios Agroalimentario y Forestal (LANISAF), ambos de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. Los elementos que fueron determinados son: Nitrógeno con el método de Microkjeldahl (Sadzawka *et al.*, 2007), Fósforo por espectrometría molecular con el método de amarillo de molibdo vanadato (Chamberlin and Thomas, 1980; Sadzawka *et al.*, 2007), Potasio por análisis de fotometría de flama (Sadzawka *et al.*, 2007), Calcio y Magnesio por medio de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) (Chávez, 2011).

Para el cálculo de las unidades calor (UC), se utilizó la Metodología de la University of California, Agriculture and Natural Resources (2017), bajo el criterio de que la temperatura umbral mínima del cultivo de pimiento es superior a la temperatura mínima del ambiente y la temperatura umbral máxima es inferior a la temperatura máxima ambiental de tal manera que la planta presente crecimiento.

Se cuantificó el contenido de cada nutrimento y se estimó la extracción y la tasa de extracción de N, P, K, Ca y Mg en la parte área de la planta. La extracción se estimó mediante el modelo logístico (Richard, 1959) y la tasa absoluta de extracción por medio de su primera derivada. Para establecer las diferencias estadísticas, se realizó análisis de varianza y prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), los datos de extracción de N, P, K, Ca y Mg se ajustaron mediante el programa de cómputo para la estimación de parámetros de modelos no lineales, basados en regresión no lineal con el modelo logístico con la propuesta de Rodríguez *et al.* (2006) para la obtención de los parámetros (A, B y C) mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System University Edition (SAS, 2015), para la construcción de las curvas de extracción y la tasa de absorción de nutrimentos.

Los modelos utilizados fueron:

$$\text{Extracción total: } \frac{A}{(1+B \cdot e^{-C \cdot UC})^2}$$

$$\text{Tasa absoluta de absorción: } \frac{A \cdot B \cdot C \cdot e^{-C \cdot UC}}{(1+B \cdot e^{-C \cdot UC})^2}$$

### 3.2.5 Manejo del Cultivo

La siembra se realizó en charolas de poliestireno expandido de 60 cavidades, se utilizó turba como sustrato. Cada tercer día se aplicaron riegos ligeros con agua y 10 días posteriores de la emergencia y hasta el momento del trasplante se proporcionó riego con solución nutritiva de Steiner (1984) a 25% de su concentración, posteriormente durante el manejo del experimento se empleó la solución nutritiva mencionada al 75 %, la cual fue sustituida al momento de fructificación por la concentración al 100 %. El trasplante se realizó el 29 de mayo de 2016, 36 días después de siembra (dds), en los contenedores, las plantas fueron colocadas a una distancia de 0.45 m y de 1.4 m entre hileras, lo que equivale a una densidad de población de 1.6 plantas·m<sup>-2</sup>. El día de trasplante se hizo una aplicación a la base de la planta de 40 mL de una mezcla de agua y Cyacypyr, el cual se utilizó a una dosis de 400 mL·ha<sup>-1</sup>, para control de *Bemisia tabacci*, *Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia argentifolii*, del orden Lepidóptera y trips, en la misma mezcla se aplicó Etridiazole (1.1 g·L<sup>-1</sup>) para el control del marchitamiento fúngico causado por hongos fitopatógenos en la parte subterránea de la planta.

Treinta días después del trasplante (ddt), se aplicó nuevamente Cyacypyr con la dosis de 350 mL·ha<sup>-1</sup> en sistema de riego, el tutorado se empezó a los 20 ddt el cual se hizo en tipo holandés, se realizaron tres podas de hojas las cuales se consideraron en la producción de biomasa total. Se hicieron aplicaciones preventivas para Botrytis, con Procloraz (2 mL·L<sup>-1</sup>), con intervalos de 20 días.

### 3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso total de la parte aérea de la planta, no presentó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), mientras que el índice de cosecha biológico y comercial sí ( Cuadro 9), esto fue resultado de la fluctuación en las condiciones ambientales, densidad de plantación, edad de la planta y la disponibilidad de carbohidratos son factores críticos durante el desarrollo de la flor y el ovario que modifican el número, el peso, tamaño y forma de fruto; donde estos están determinados por la velocidad de desarrollo del fruto a partir de la antesis hasta la maduración (Gómez, 2000; Quintero, 2009).

**Cuadro 9.** Comparación de medias de características evaluadas durante el ciclo del cultivo de seis cultivares de pimientos (*Capsicum annum* var Botánica Grossum), Chapingo, México 2016.

Tratamiento	Frutos			Índice de Cosecha	
	Numero	Materia seca (g)	Peso Promedio (g)	Biológico	Comercial
4212 F <sub>1</sub>	26 a <sup>#</sup>	449.16 b	253.51 a	0.44875 ab	0.38510 ab
Cortes F <sub>1</sub>	27 a	663.49 a	271.16 a	0.44918 ab	0.41500 ab
Prometeo F <sub>1</sub>	15 b	225.87 c	338.65 a	0.32385 b	0.28913 c
Aristeo F <sub>1</sub>	20 a	509.15 ab	371.16 a	0.58515 a	0.45698 ab
Anabel F <sub>1</sub>	20 a	465.28 b	373.29 a	0.57808 a	0.48468 a
Araceli F <sub>1</sub>	21 a	323.76 bc	348.13 a	0.58228 a	0.51233 a
DSH	7.906	190	127.187	0.1461	0.1092

DSH: Diferencia Significativa Honesta; # Valores de medias por columnas que comparte misma letra no son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

Para todos los cultivares la mayor tasa absoluta de extracción (TAE) de nitrógeno, se observó entre las 290 y 350 unidades calor (UC) (Figura 6b), esto debido al efecto que tiene la poda tipo holandesa que favorece el flujo de fotoasimilados principalmente hacia el fruto (Onis *et al.*, 1997; Vera-Guzmán *et al.*, 2011), en esta etapa se presentaron las mayores tasas de crecimiento absoluto para los cultivares más eficientes en la producción de biomasa, lo que generó el aumento en la extracción de nitrógeno, debido a que este elemento esencial en la división y expansión celular durante el desarrollo vegetativo, floración y el consecuente

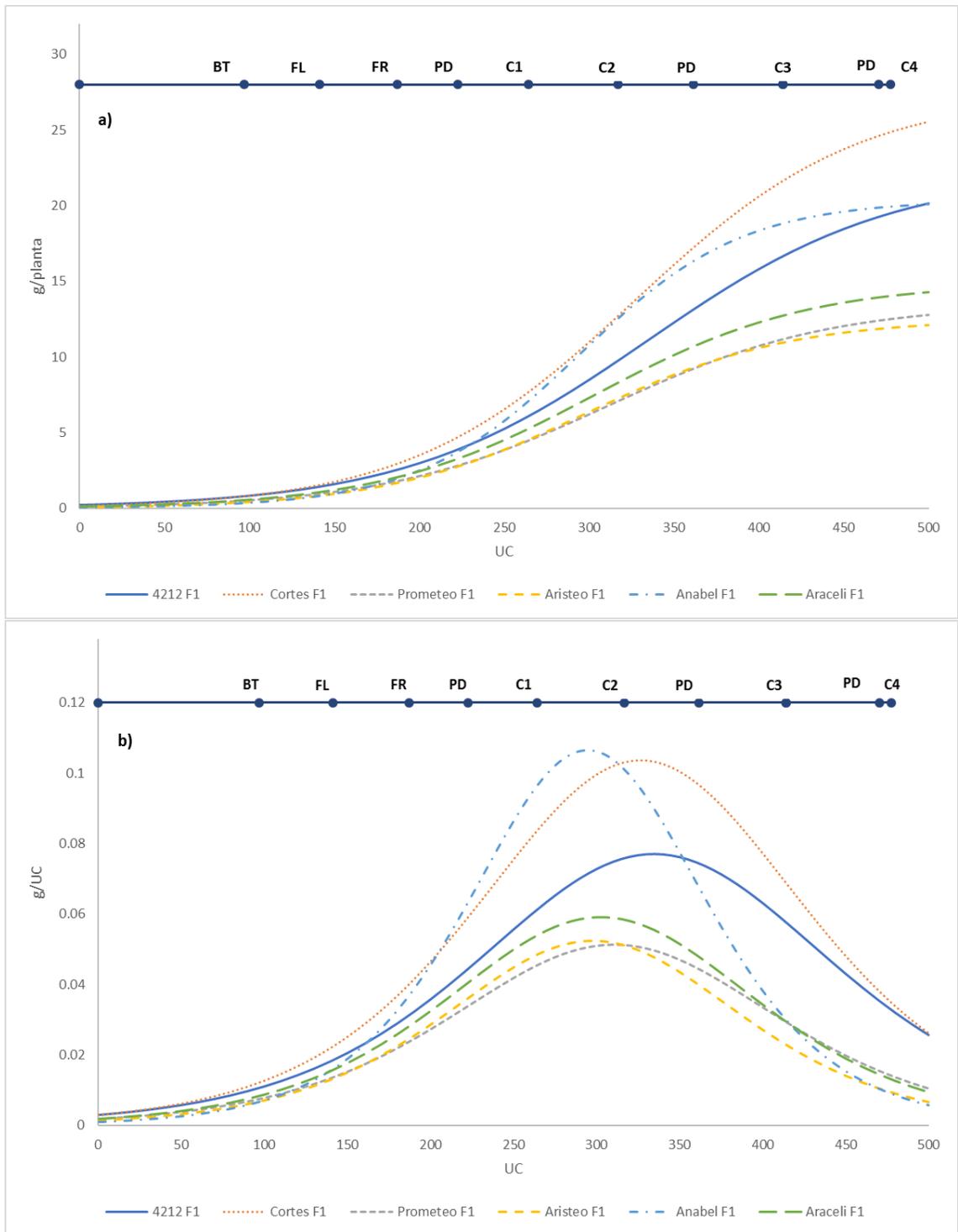
desarrollo de frutos (Villar, 2003; Barker y Pilbeam, 2006; Marschner, 2012; Ayodele *et al.*, 2015).

Para los cultivares tipo lamuyo la mayor TAE de nitrógeno se observó entre las 330 y 350 UC que corresponde a la máxima tasa absoluta de crecimiento, donde 4212 F<sub>1</sub> presentó la mayor TAE de nitrógeno con valor de 0.076 g·UC<sup>-1</sup> a las 330 UC (Figura 6b), el más eficiente en la producción de biomasa en comparación con Cortés F<sub>1</sub>, que obtuvo su mayor TAE de nitrógeno con valor de 0.1 g·UC<sup>-1</sup> a las 350 UC (Figura 6b), debido a la dinámica de crecimiento diferente que se observó en los cultivares a partir de la etapa de fructificación.

En los cultivares Prometeo F<sub>1</sub> y Araceli F<sub>1</sub>, la mayor TAE de nitrógeno se encontró a las 310 UC con valores de 0.051 y 0.059 g·UC<sup>-1</sup> (Figura 6b), respectivamente, mientras que en Anabel F<sub>1</sub> y Aristeo F<sub>1</sub> la mayor TAE de nitrógeno con valor de 0.1 y 0.052 g·UC<sup>-1</sup>, se encontró a las 290 y 300 UC (Figura 6b), respectivamente, momento en que la planta se encuentra en una etapa previa a la madures fisiológica de los frutos y el aumento en el desarrollo vegetativo estimulado por la cosecha y la poda, donde el aumento de TAE de nitrógeno, se relaciona con la importancia de este elemento en los procesos de síntesis, división y expansión celular que se presentaron por el desarrollo de los frutos y el crecimiento vegetativo que se produjo (Salisbury y Ross, 2000; Marschner, 2012; Ayodele *et al.*, 2015).

Azofeifa y Moreira (2005), mencionan que el contenido de nitrógeno en tallos y hojas se verá disminuido al final del ciclo por ser acumulados en los frutos y meristemas en crecimiento, en este estudio el contenido de nitrógeno se determinó a partir de una mezcla de los órganos aéreos (tallo, hoja, flores y frutos), por lo que se observó la tendencia de disminución en el contenido (%) de nitrógeno, por el efecto de dilución en la biomasa total durante el ciclo del cultivo; Achhireddy *et al.* (1982) y Ryłski, (1986), mencionan que el 90 % del nitrógeno total del fruto se acumula en el pericarpio después de la antesis floral, no obstante la muestra represento todos los órganos aéreos.

En la Figura 6a se puede observar la extracción total de nitrógeno por planta, donde los cultivares que presentaron los mejores índices fisiotécnicos relacionados con la capacidad y eficiencia para producir biomasa (Tasa de crecimiento absoluto (TAC) y Razón de área foliar (RAF)), como lo son 4212 F<sub>1</sub>, Anabel F<sub>1</sub> y Cortes F<sub>1</sub> presentaron también la mayor tasa de extracción, lo cual muestra la importancia de este elemento en la síntesis de nuevo tejido.

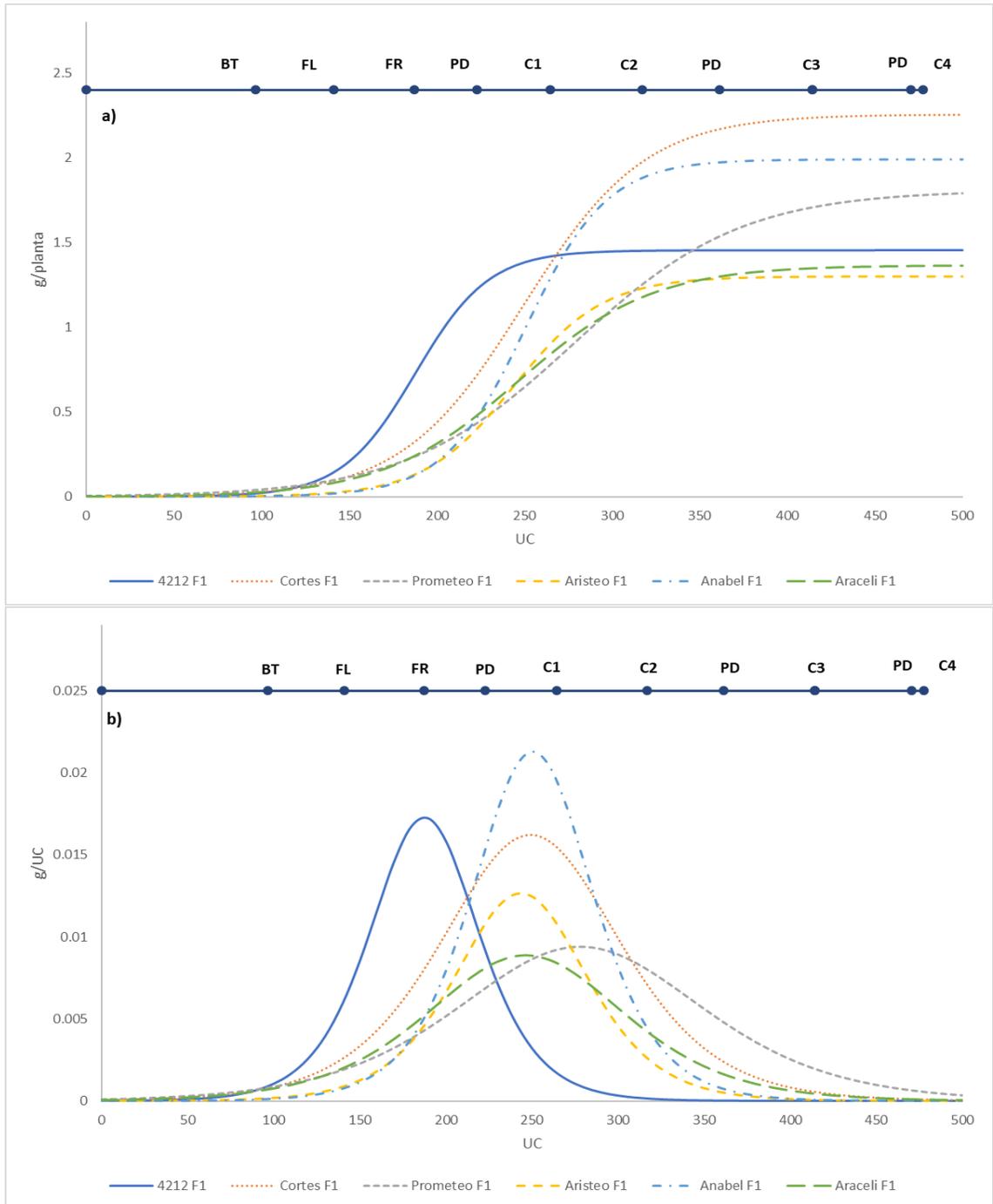


**Figura 6.** a) Extracción de nitrógeno, b) Tasa absoluta de extracción de nitrógeno, durante el ciclo de cultivo de pimienta (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.

Todos los cultivares a excepción de 4212 F<sub>1</sub>, presentaron la mayor TAE de fósforo entre las 250 y 300 UC (Figura 7b), con valores de 0.016, 0.009, 0.012, 0.02, 0.008 g·UC<sup>-1</sup>, que corresponde a la etapa de madurez fisiológica de los frutos para los cultivares Cortes F<sub>1</sub>, Prometeo F<sub>1</sub>, Aristeo F<sub>1</sub>, Anabel F<sub>1</sub>, Araceli F<sub>1</sub> respectivamente; Moor *et al.* (2009) mencionan que el contenido de P incrementa la calidad de los frutos al activar los mecanismos de síntesis de ácido ascórbico, antocianinas y el cambio de color en la maduración.

El Cultivar 4212 F<sub>1</sub>, mostró un desarrollo vegetativo lento en comparación de los otros cultivares hasta el momento de la floración, una vez iniciada la etapa reproductiva presentó mayor eficiencia en la producción de biomasa en relación con su área foliar, por lo que la demanda de fósforo para los procesos de síntesis fue mayor, obteniendo su mayor TAE de fósforo con valor de 0.017 g·UC<sup>-1</sup> a las 190 UC (Figura 7b), es decir se presentó antes de los demás cultivares. En este sentido, Mengel *et al.* (2001) y Noh *et al.* (2010), mencionan que los tallos y hojas jóvenes que se encuentran en crecimiento poseen un alto contenido de fósforo inorgánico (Pi) para el posterior desarrollo de los frutos y semillas.

En la Figura 7a, se puede observar que los cultivares presentan una fase donde la extracción de P se vuelve asintótica, esto corresponde a la fase del desarrollo de estado constante o final, que inicia con la madurez fisiológica de los frutos, donde tallos y hojas presentan una disminución en su tasa de crecimiento absoluto, al ser los frutos los órganos que determinan la velocidad de crecimiento y generación de materia seca, ocasionando al final del ciclo la acumulación de P en los frutos (Mengel *et al.*, 2001; Onis *et al.*, 2004; Azofeira y Moreira, 2005; Salazar y Juárez, 2013; Nieves *et al.*, 2015).

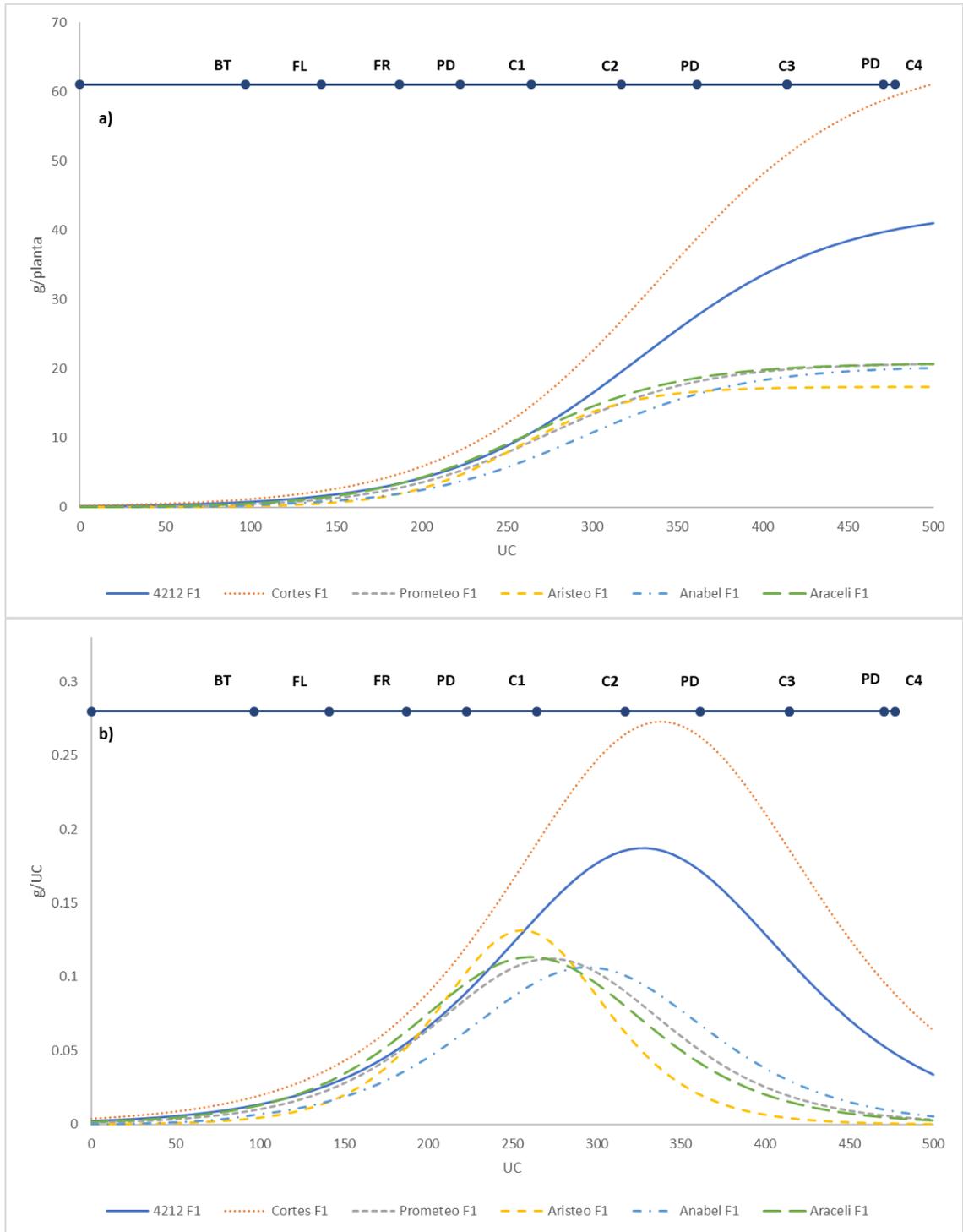


**Figura 7.** a) Extracción de fosforo, b) Tasa absoluta de extracción de fosforo, durante el ciclo de cultivo de pimentero (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.

Los cultivares tipo lamuyo duplican la extracción total de potasio en comparación de los cultivares tipo california (Figura 8a), esto puede ser debido al consumo de lujo que se produce en algunos cultivares de pimiento, debido a la alta tasa de absorción de las raíces y su concentración en tejido vegetativo que puede ser de 10 – 50 g por Kg de materia seca (Taiz y Zeiger, 2006; Medina, 2010; Marschner, 2012), por su parte Mendoza & Lasso (2004), mencionan que el potasio es esencial en la activación de enzimas fotosintéticas que mejoran el consumo de agua y la translocación de asimilados de las hojas a los órganos reserva como los frutos, mejorando la calidad y vida de anaquel (Azabache, 2003). Los cultivares 4212 F<sub>1</sub> y Cortes F<sub>1</sub> con frutos tipo lamuyo son los que presentaron el mayor tamaño de frutos, donde la mayor TAE de potasio se presentó a las 340 UC con valores de 0.18 y 0.27 g·UC<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 8b), por lo que la cantidad, el tamaño y la posición en la planta aumenta la formación de compuestos especializados en la síntesis de materia seca por la planta, determinando el rendimiento y calidad de los productos hortícolas (Chapagain & Wiesman, 2004; Ciampitti *et al.*, 2011; Romero *et al.*, 2016).

Para todos los cultivares con frutos tipo california, el desarrollo de los frutos se presentó a partir de las 200 UC, por lo que la dinámica de extracción de potasio para cada cultivar se incrementó, teniendo las mayores TAE con valores de 0.10, 0.13, 0.10, 0.11 g·UC<sup>-1</sup> (Figura 8b), para los cultivares Prometeo F<sub>1</sub>, Aristeo F<sub>1</sub>, Anabel F<sub>1</sub> y Araceli F<sub>1</sub>, respectivamente entre las 250 y 300 UC que corresponde a la fase de cambio de pigmentación y madurez fisiológica de los frutos.

Para todos los cultivares, aproximadamente 12 días después de la floración hasta antes de que el fruto comience los cambios de pigmentación, son los periodos de mayor demanda de potasio, por estar éste involucrado en la síntesis de pigmentos (Ramirez, 2009), por su parte Onis *et al.*,(2004), mencionan que entre el 60 y 66 % del potasio absorbido se encuentra en frutos, por lo que la dinámica de crecimiento de estos a partir de la anthesis hasta la maduración, marca la diferencia en la extracción de potasio.

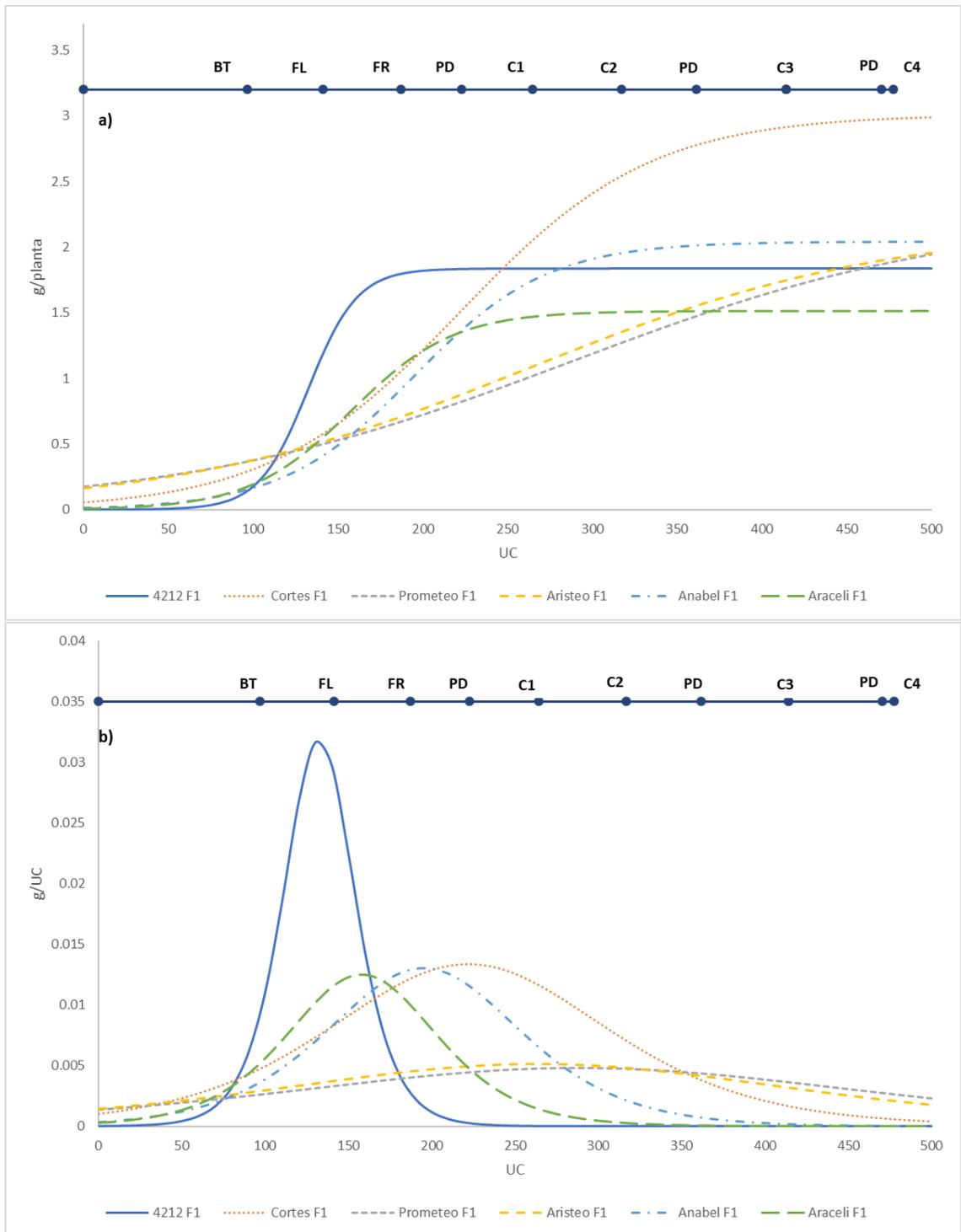


**Figura 8.** a) Extracción de potasio, b) Tasa absoluta de extracción de potasio, durante el ciclo de cultivo de pimienta (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.

El cultivar 4212 F<sub>1</sub> presentó su máxima TAE de calcio a las 130 UC con valor de 0.03 g·UC<sup>-1</sup> (Figura 9b), y para este cultivar la tasa extracción total con valor de 1.83 g·UC<sup>-1</sup> (Figura 9a) se vuelve asintótica a partir de las 200 UC, que corresponde al inicio de desarrollo de los frutos, Salisbury y Ross, (2000), mencionan que al existir mayor concentración de Ca disponible, este puede ser absorbido e incorporado en las células para inducir crecimiento y peso de los órganos, ya que este elemento favorece la actividad enzimática de síntesis de clorofila por las reacciones ligadas al Mg<sup>2+</sup> y Cl<sup>-</sup>, que se traduce en la generación de materia seca.

Para los cultivares Anabel F<sub>1</sub> y Araceli F<sub>1</sub> que poseen frutos tipo california de color rojo, la mayor TAE de calcio con valor de 0.012 g·UC<sup>-1</sup> para ambos cultivares, se produjo a las 200 y 160 UC (Figura 9b), respectivamente, que corresponde a las etapas de floración e inicio de fructificación, mostrando comportamiento asintótico en la extracción total a partir de las 360 y 340 UC con valores 2.01 y 1.51 g·UC<sup>-1</sup>, respectivamente. Para los cultivares Prometeo F<sub>1</sub> y Aristeo F<sub>1</sub> que poseen frutos tipo california de color amarillo, la mayor TAE de calcio con valor de 0.004 y 0.005 g·UC<sup>-1</sup> se produce a las 290 y 260 UC (Figura 9b), que corresponde a la fase de cambio de pigmentación y madurez fisiológica sin presentar una fase asintótica como los demás cultivares.

El mayor contenido de Ca (%) en los tejidos se encuentra comprendido entre la etapa de bifurcación del tallo principal (90 UC) hasta la madurez comercial (270 UC), que concuerda con la fase de crecimiento lineal y máxima tasa de crecimiento absoluto para la mayoría de cultivares a excepción de 4212 F<sub>1</sub>, por lo que la extracción de Ca por planta, mantiene una tendencia creciente generado por el manejo de poda (poda tipo holandesa), que mantiene un constante crecimiento vegetativo y producción escalonada, generando un aumento en la raíz, peso fresco de la hoja que produce una mejora significativa en el crecimiento y fructificación (Marschner, 2012).



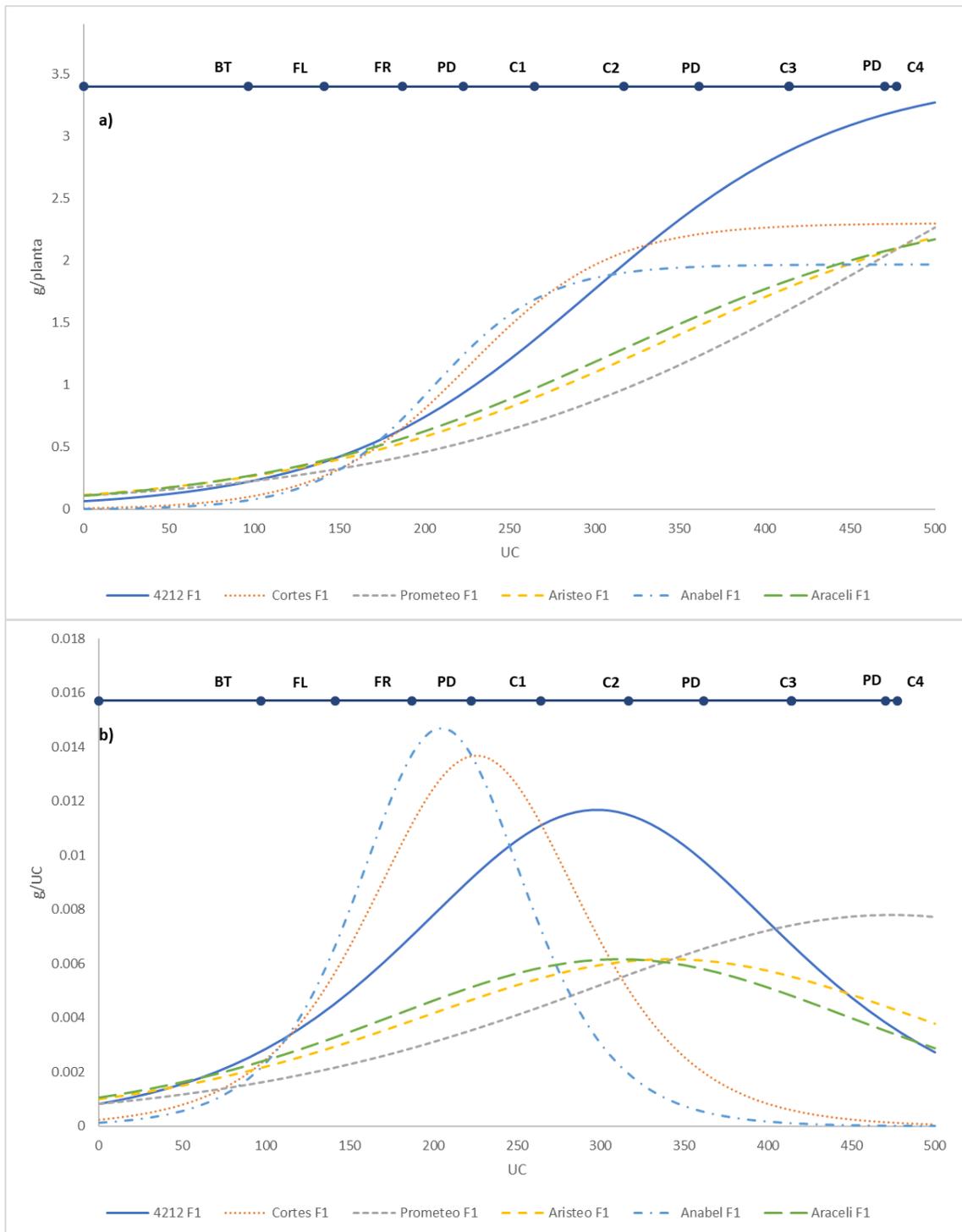
**Figura 9.** a) Extracción de calcio, b) Tasa absoluta de extracción de calcio, durante el ciclo de cultivo de pimienta (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.

Para el cultivar 4212 F<sub>1</sub> la mayor TAE de magnesio se produce a las 300 UC con valor de 0.011 g·UC<sup>-1</sup> (Figura 5b) que corresponde a la máxima tasa de asimilación neta, promovida por el cambio de pigmentación y crecimiento vegetativo causado por la cosecha, Marschener, (2012), menciona que en la planta del 6 al 25 % de magnesio está unido a la molécula de clorofila y entre el 5 al 10 % unido a las moléculas de pectatos en la pared celular o como sal soluble en la vacuola, no obstante Cakmak and Yazici, (2010), mencionan que el magnesio se encuentra relacionado con el mecanismo de exportación de azúcares por el floema de las hojas a los demás órganos, por el complejo Mg-ATP que se requiere para la optimización de la H<sup>+</sup>-ATPasa, siendo el cultivar que presentó la mayor extracción total con valor de 3.27 g·planta<sup>-1</sup> (Figura 5a); a pesar de ser el cultivar que presentó la menor área foliar, fue el más eficiente en la producción de fotoasimilados, lo cual plantea interrogantes para estudios posteriores.

Para los cultivares Cortes F<sub>1</sub> y Anabel F<sub>1</sub> la mayor TAE de magnesio con valor de 0.013 y 0.014 g·UC<sup>-1</sup> se produce a las 230 y 210 UC, respectivamente (Figura 5b), que corresponde a la fase de crecimiento de los frutos previo a los cambios de pigmentación, esto puede ser debido a que el magnesio se ve involucrado en el movimiento de los azúcares de las hojas a los órganos más demandantes (Cakman and Kirkby, 2008; Cakmak and Yazici, 2010). Para el cultivar Aristeo F<sub>1</sub> la mayor TAE de magnesio con valor de 0.006 g·UC<sup>-1</sup> se produce a las 340 UC que coincide con el aumento de la velocidad en TAC para este cultivar, esto puede ser debido al aumento de la fotosíntesis para la generación de materia seca, al ser este elemento la parte central de la clorofila y formar parte de las laminillas medias de las células y tejidos meristemáticos (Taiz and Zeiger, 2006).

La relación directa entre fotosíntesis y la relación K/Mg, donde el potasio es esencial en la activación de enzimas en la translocación de asimilados a los órganos reservas (Mengel *et al.*, 2001; Cakman y Kirkby, 2008; Marschner, 2012) y el magnesio en la optimización de estos procesos (Cakmak and Yazici, 2010),

puede disminuir la tasa de fotosíntesis, por ello la importancia en las relaciones Ca/K, Ca/Mg, Ca+Mg/K.



**Figura 10.** a) Contenido y extracción de magnesio, b) Tasa absoluta de extracción de magnesio, durante el ciclo de cultivo de pimienta (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.

### 3.4 CONCLUSIONES

La mayor tasa absoluta de extracción de nitrógeno para los cultivares con frutos tipo lamuyo se presentó durante las 330 – 350 Unidades Calor, que corresponde a la fase de mayor desarrollo vegetativo y fructificación.

La mayor tasa absoluta de extracción de nitrógeno para los cultivares con fruto tipo california se presentó durante las 290 – 300 unidades calor, que corresponde a la fase de inicio de cambio de pigmentación.

La mayor tasa absoluta de extracción de potasio para todos los cultivares se presentó durante la fase de crecimiento de los frutos hasta el cambio de pigmentación, no obstante, la magnitud total que fue extraída fue mayor en los cultivares con fruto tipo lamuyo.

La mayor tasa absoluta de extracción de fosforo para los cultivares Cortes F<sub>1</sub>, Prometeo F<sub>1</sub>, Aristeo F<sub>1</sub>, Anabel F<sub>1</sub> y Araceli F<sub>1</sub> se presentó durante las 250 – 300 Unidades Calor, que corresponde a la etapa de madurez fisiológica de los frutos, 4212 F<sub>1</sub> presento su máxima tasa de extracción durante la floración.

La mayor tasa absoluta de extracción de Ca para los cultivares Anabel F<sub>1</sub> y Araceli F<sub>1</sub> que poseen frutos california color rojo, se presentó entre la etapa de floración e inicio de fructificación (140 – 190 Unidades Calor).

La mayor tasa absoluta de extracción de Ca para los cultivares Prometeo F<sub>1</sub> y Aristeo F<sub>1</sub> que poseen frutos california color amarillo, se presentó entre la etapa de cambio de color y madures fisiológica (260 – 320 Unidades Calor).

La extracción nutrimental (g.planta<sup>-1</sup>) obtenida al final del ciclo de crecimiento fue: 4212 F<sub>1</sub>: 19.72, 1.45, 40.37, 1.84, 3.22, Cortes F<sub>1</sub>: 25.10, 2.25, 59.97, 2.98, 2.29, Prometeo F<sub>1</sub>: 12.61, 1.78, 20.65, 1.90, 2.14, Aristeo F<sub>1</sub>: 11.98, 1.78, 17.43, 1.93, 2.12, Anabel F<sub>1</sub>: 20.00, 1.99, 33.04, 2.04, 1.96, Aracely F<sub>1</sub>: 14.12, 1.36, 20.65, 1.51, 2.12 de N, P, K, Ca, Mg con rendimientos por t·ha<sup>-1</sup> de 26.10, 30.07, 20.26, 29.00, 28.50, 29.06 respectivamente.

### 3.5 LITERATURA CITADA

- Achhireddy N.R., Fletcher J.S., Beevers L. (1982). The influence of shade on the growth and nitrogen assimilation of developing fruits on bell pepper. *Hortscience* 17, 635-637.
- Avitia-García, Edilberto, Pineda-Pineda, Joel, Castillo-González, Ana María, Trejo-Téllez, Libia I., Corona-Torres, Tarsicio, & Cervantes-Urbán, Elizabeth. (2014). Nutrient extraction in strawberry (*Fragaria x Ananassa* Duch.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 519-524.
- Ayodele, O.J., Alabi E.O y Aluko, M. (2015). Nitrogen fertilizer effects on growth, yield and chemical composition of hot pepper (*Rodo*). *Int. J. Agr. Crop Sci.* 8 (5), 666-673.
- Azabache Leytón A. (2003). Fertilidad de suelos para una agricultura sostenible: Desarrollo de la fertilidad del suelo. Huancayo, PE. Universidad Nacional del Centro. 19(26), 184.
- Azofeifa, A y Moreira, M. (2005) Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* CV. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica *Agronomía Costarricense*; 29, 77-84.
- Barker, A. V., Pilbeam, D. J. (2006). *Handbook of plant nutrition*. CRC Press. Boca Raton Fla. USA. 613 p.
- Bertsch F. (2009), *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 308 p.
- Bugarín, M. R., Virgen, P. M., Galvis, E. A., García, P. D. Hernández, M. T., Bojórquez, S. I. y Madueño, M. A. (2011). Extracción de nitrógeno en seis especies olerícolas durante su ciclo de crecimiento. *Revista Bioagro*. 23(2), 93-98.
- Cakman, I. and Kirkby E.A. (2008). Role of magnesium in carbón partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiol. Plant.* 133, 692-704.

- Cakman, I. and A.M. Yazici. (2010). Magnesium: Forgotten element in Crop Production. *Better Crops* 94(2), 23-25.
- Chamberlin G. J. y Thomas L. C. (1980). "Colorimetric Chemical Analytical Methods", 9na edición, Tintameter Ltd, England 57 p.
- Chapagain, B.P. & Z. Wiesman. (2004). Effect of Nutri-Vant-PeaK foliar spray on plant development, yield, and fruit quality in greenhouse tomatoes. *Scientia Horticulturae* 10, 177-188.
- Chávez Carrillo, F. E. (2011). Determinación multielemental de macro y micronutrientes catiónicos en suelos por espectropía de emisión por acoplamiento de plasma inductivo y detección óptica de ICP-OES. 131 p.
- Ciampitti, I. A. y F. O. Garcia: (2008) "Balance y eficiencia de uso de los nutrimentos en sistemas agrícolas", *Revista Horizonte*, 18, 22-28, 2008.
- Ciampitti, I. A., García, F. O., & Acassuso, B. A. (2011). requerimientos nutricionales Absorción y Extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Agronómicas* 37, 1-4.
- García, E. (1988). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. México, D. F. 219 p.
- Gómez, D. (2000). Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en función del clima. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 70 p.
- González-Zamora A, Sierra E, Pérez R, Vázquez C, Gallegos MA, López J.D., García-Hernández JL (2015). Measurement of capsaicinoids in chiltepin hot pepper: a comparison study between spectrophotometric method and high performance liquid chromatography analysis. *Journal of Chemistry* 2015, 1-10.
- Järvan M., Poldma P. (2004): Content of plant nutrients in vegetables depending on various lime materials used for neutralising bog peat. *Agronomy Research*, 2, 39–48.

- Marschner, H (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. Third edition. Academic Press, Inc. 889. San Diego, CA, USA. 672 p.
- Medina, N., Borges G.J., Soria F.L. (2010). Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) Tropical and Subtropical Agroecosystems; pp. 219-228.
- Mendoza, P. C.; Sifuentes, I. E. and Ramírez, A. C. (2015). Curvas de demanda nutrimental del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) de la variedad fianna. Rev. Inter. Inv. Inno. Tecnol. 3(16), 1-8.
- Mendoza Malagon, O. S. C. A. R., & Lasso Mendoza, L. M. A (2004). Aplicacion de fertilizantes foliares mejorados con aminoacidos y potasio en plantas de chile pimiento morron (*Capsicum annum* var. California wonder 300), en condiciones de invernadero. 139 p.
- Mengel, K., A. Kirkby, H. Kosegarten, and T Appel. (2001). Principles of plant nutrition. Fifth edition. Kluwer Academics. Dordrecht, The Netherlands. 849 p.
- Metodología para el cálculo de Unidades Calor diseñada por la University of California, Agriculture and Natural Resources, empleada en el SIMARBC. (2017, abril 1). Recuperado de <http://www.simarbc.gob.mx/#gallery>.
- Moor, U., Pöldma, P.T. Tõnutare, Karp, K., Starast, M. and Vool, E. (2009). Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. Sci. Hortic. 119, 264-269.
- Nieves, G.F., S.G. Alejo, E.G. Luna, F.C. Lemus, L.P. Juárez y P.E. Salcedo. (2015). Extracción y requerimiento de fósforo en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) 'Big Brother'. Interciencia 40(4), 282-286.
- Noh-Medina, José; Borges-Gómez, Lizette; Soria-Fregoso, Manuel; (2010). Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Tropical and Subtropical Agroecosystems, mayo-agosto, pp. 219-228.

- Onis, A., Camelo, A. L., & Gómez, P. (1997). Efecto de la poda a dos y cuatro ramas sobre la producción de pimiento en invernáculo no calefaccionado. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Argentina. pp 5-11.
- Pineda-Pineda J, Avitia-García E, Castillo-González AM, Corona-Torres T, Valdez-Aguilar LA, Gómez-Hernández J (2008). Extracción de macronutrientes en frambueso rojo. Terra Latinoamericana; 26, 333-340.
- Puentes, P.Y.J., Menjivar F.J.C. y Aranzazu H.F. (2016). Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao. Costa Rica. Agron. Mesoam. 27(2), 329-336. Doi:10.15517/am.v27i2.19728.
- Quintero I., Barraza F. (2009). Densidad poblacional y plasticidad fenotípica del Ají picante (*Capsicum annuum* L.) C.V. Cayene Long Slim. Revista Intropica. Santa Marta Colombia. Issn1794.161x. pp 55.56.
- Quesada-Roldán, Gustavo; Bertsch-Hernández, Floria; (2013). Obtención de la curva de extracción nutrimental del híbrido de tomate FB-17. Terra Latinoamericana, enero-marzo 2013. pp 1-8
- Ramírez S., Muro L.F.E., and Sánchez G., P. (2009). Potassium affects the lycopene and  $\beta$ -carotene concentration in greenhouse tomato. Acta Hort. 821, 223-228 DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.821.25
- Reyes, R.A., López, A.M., Ruiz, S.E., Latournerie, M.L., Pérez, G.A., Lozano, C.M.G. y Zavala, L.M.J. (2014). Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Agrociencia 48, 285-294.
- Richard, F. (1959). A flexible growth function empirical use. J. Exp. Bot. 10, 290-300.
- Rylski, I. (1986). Pepper (*Capsicum*) In: Handbook of fruit set and development. CRC. UK. pp. 341-353.

- Rodríguez P., J. E.; Sahagun C., J.; Mora A., R.; Gasga P., R. (2006). Programas de cómputo para la estimación de parámetros de regresión no lineal útiles en el análisis de crecimiento de cultivos. 52da reunión anual de la Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical. Sep. pp 24-30. San Juan, Puerto Rico.
- Romero, L.M.P., P.Y.J. Puentes y F.J.C. Menjivar. (2016). Eficiencia de uso de nutrientes en ají tabasco (*Capsicum frutescens* L.) y habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Rev. Investig. Agr. Ambient. 7(2), 121-127. Doi: 10.22490/21456453.1562
- Sadzawka R. A., M.A. Carrasco R., R. Demanet F., H. Flores P., R. Grez Z., M.L. Mora G. y A. Neaman. (2007). Métodos de análisis de tejidos vegetales. Segunda Edición. Instituto de Investigación Agropecuarias, Serie Actas INIA N° 40, Santiago, Chile, 140 p.
- Salazar, J.F.I. y L.P. Juárez. (2013). Requerimiento macronutricional en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). Rev. BioCiencias 2(2), 27-34.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. (2000). Fisiología de las plantas. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Thompson Ediciones, Madrid. pp. 557-564.
- SAS (Statistical Analysis System) (2015) User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA. 803 p.
- Steiner, A. A. (1984). The universal solution. Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, The Netherlands. pp. 633-649.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2006) Plant physiology. 4th Edition, Sinauer Associates, Inc., Sunderland 651 p.
- Valentín-Miguel, M. C., Castro-Brindis, R., Rodríguez-Pérez, J. E., & Pérez-Grajales, M. (2013). Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Revista Chapingo. Serie horticultura, 19(4), 71-78.

- Vera-Guzmán A.M., Chávez-Servia J.L., Carrillo-Rodríguez J.C., López M.G. (2011) Phytochemical evaluation of wild and cultivated pepper (*Capsicum annuum* L. and *C. pubescens* Ruiz & Pav.) from Oaxaca, México. Chilean Journal of Agricultural Research 71, 578-585.
- Villar, J.M. (2003). Diagnóstico de la Fertilidad del Suelo. Avances en Fertilidad de Suelos. Doctorado en Ciencias del Suelo.
- Zayed, M.S., M.K.K. Hassanein, H.E. Nahed y M.M.F. Abdallah. (2013). Productivity of pepper crop (*Capsicum annuum* L.) as affected by organic fertilizer, soil solarization, and endomycorrhizae. Ann. Agric. Sci. 58(2), 131-137. Doi: 10.1016/j.aoas.2013.07.011.

## **ANEXOS**

**Cuadro 10.** Comparación de medias de altura de planta, diámetro de tallo principal durante el ciclo del cultivo de los diferentes tipos de pimientos (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum), Chapingo, México 2016.

Tratamiento	Unidades calor											
	6.45	93.65	136.4	183.9	220.1	260.9	314.05	359.25	409.2	444.75	484.3	497.7
	<b>Altura (cm)</b>											
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	16.5 a <sup>#</sup>	39.325 c	47.675 bc	61.325 bc	76.085 c	77.475 b	81.025 c	109.775 bc	105.825 bc	97.98 a	109.150 d	134.68 ab
<b>Cortes F<sub>1</sub></b>	17.00 a	51.200 a	58.143 a	77.250 a	97.900 a	100.025 a	99.925 a	119.150 ab	115.625 b	113.93 a	136.825 a	145.750 a
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	17.00 a	46.700 b	53.925 ba	55.975 d	84.725 b	97.200 a	94.225 ab	127.958 a	144.300 a	95.53 a	131.525 ab	143.750 a
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	17.07 a	47.525 ab	54.425 ba	65.200 b	72.550 c	76.925 b	90.600 b	92.200 d	99.200 c	110.55 a	126.950 abc	117.4 b
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	14.07 a	41.375 c	52.375 ba	62.325 b	72.975 c	81.175 b	89.825 b	104.275 cd	109.875 cb	117.58 a	117.375 bcd	118.550 b
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	14.07 a	41.675 c	44.400 c	56.675 cd	73.425 c	79.048 b	90.525 b	106.175 c	97.575 c	115.85 a	112.550 cd	139.75 ab
<b>DSH</b>	0.7583	4.064	6.8685	4.8158	8.37	6.2182	5.7523	12.602	12.573	75.702	17.663	25.142
	<b>Diámetro (cm)</b>											
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	0.5 ab	0.736 b	1.089 a	11.122 a	9.903 b	11.473 a	16.790 a	11.9375 b	15.500 ab	12.018 c	11.628 c	13.765 b
<b>Cortes F<sub>1</sub></b>	0.424 c	0.872 ab	1.0260 a	11.682 a	11.670 ab	11.938 a	13.460 ab	18.1575 a	12.660 b	12.995 c	13.285 bc	12.265 b
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	0.43 bc	0.810 ab	1.0968 a	12.445 a	16.373 a	16.118 a	16.123 ab	17.2650 a	16.748 ab	17.273 ab	1674 ab	18.290 a
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	0.568 a	0.971 a	1.022 a	11.417 a	11.157 ab	11.513 a	12.760 b	13.8775 b	14.640 ab	14.108 bc	15.123 bc	13.800 b
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	0.46 bc	0.856 ab	1.092 a	12.722 a	13.190 ab	13.17 a	15.775 ab	18.0875 a	16.990 a	19.895 a	19.895 a	18.228 a
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	0.46 bc	0.913 ab	1.106 a	12.647 a	14.998 ab	28.300 a	12.638 b	17.3750 a	16.650 ab	18.065 ab	15.555 bc	15.745 ab
<b>DSH</b>	0.7583	2.1106	3.3343	2.6328	5.591	28.939	3.6108	2.8385	4.2403	4.1715	4.2377	3.727

DSH: Diferencia Significativa Honesta; # Valores de medias por columnas que comparten misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, p ≤ 0.05).

**Cuadro 11.** Comparación de medias de área foliar y número de hojas durante el ciclo del cultivo de los diferentes tipos de pimientos (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum), Chapingo, México 2016.

Tratamiento	Unidades calor											
	6.45	93.65	136.4	183.9	220.1	260.9	314.05	359.25	409.2	444.75	484.3	497.7
	Área foliar (cm2)											
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	66.175 a	867.30 a	930.5 a	1861.6 bc	1911.5 d	2464.8 d	1930.1 a	1936.8 b	2527.3 c	2663.9 b	1426.1 b	2147.3 b
<b>Cortes F<sub>1</sub></b>	66.250 a	937.33 a	1327.5 a	2180.58 ab	3796.2 ab	2918.8 bc	3010.1 b	2837.0 ab	3580.6 ab	3688.7 ab	2179.9 a	3147.3 ab
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	69.675 a	862.90 a	991.7 a	1688.54 cd	3824.4 ab	2924.7 b	2017.7 c	3466.5 a	4195.5 a	3181.7 ab	4018.6 ab	3656.5 ab
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	66.250 a	1022.83 a	1044.9 a	1486.05 d	2866.6 c	2141.0 d	2017.7 c	2914.0 ab	2671.5 c	2860.7 b	2047.2 b	2663.6 ab
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	67.000 a	1001.23 a	1119.7 a	2161.71 ab	3081.8 bc	3361.9 a	3617.7 a	3811.4 a	2877.3 bc	4276.6 a	3526.5 ab	3560.5 ab
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	67.275 a	856.50 a	1144.0 a	2346.92 a	4000.5 a	2488.3 cd	242.4 c	3969.7 a	3066.1 bc	3638.8 ab	2269.7 ab	4710.8 a
<b>DSH</b>	4.57	204.03	462.79	319.9	858.68	433.36	540.45	1266.6	757.01	1275.5	19685.6	2092.6
	Número de hojas											
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	5.5 a	19.00 a	26.500 a	36.250 a	38.750 b	38.500 abc	43.250 c	66.750 a	70.250 b	70.00 a	62.000 a	79.000 ab
<b>Cortes F<sub>1</sub></b>	5.7 a	22.75 a	23.000 a	33.500 a	52.250 a	40.250 ab	56.250 a	70.750 a	81.250 a	61.75 a	70.250 a	79.000 ab
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	5.5 a	24.50 a	24.250 a	30.750 a	40.000 ab	46.500 a	45.750 cb	59.500 a	82.000 a	57.50 a	73.000 a	76.000 ab
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	5.7 a	19.50 a	24.500 a	30.750 a	16.250 ab	40.750 ab	47.500 cb	68.750 a	82.750 a	76.25 a	56.500 a	74.250 ab
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	6.0 a	22.25 a	22.750 a	39.500 a	41.000 ab	36.750 bc	56.000 a	85.750 a	73.250 b	71.75 a	71.750 a	72.500 b
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	6.0 a	23.00 a	22.500 a	37.750 a	42.000 ab	30.250 c	50.500 b	75.750 a	64.750 c	72.25 a	69.750 a	87.750 a
<b>DSH</b>	0.8389	6.5473	4.8189	12.59	13.208	9.1253	5.4763	21.58	50.0201	38.684	31.7713	13.856

DSH: Diferencia Significativa Honesta; # Valores de medias por columnas que comparten misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 12.** Comparación de medias de Peso seco tallo, peso seco hoja, peso seco fruto durante el ciclo del cultivo de los diferentes tipos de pimientos (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). Chapingo, México 2016.

Tratamiento	Unidades calor											
	6.45	93.65	136.4	183.9	220.1	260.9	314.05	359.25	409.2	444.75	484.3	497.7
	<b>Peso seco tallo (g)</b>											
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	1.217 a <sup>#</sup>	3.6275 b	5.607 ab	15.298 b	15.475 b	12.923 c	24.38 ab	24.388 a	25.595 bc	18.353 a	28.463 b	28.033 c
<b>Cortes F<sub>1</sub></b>	1.320 a	3.852 ab	6.757 ab	18.550 ab	25.150 a	20.335 ab	20.71 b	24.385 a	27.065 bc	24.385 a	28.643 b	28.033 c
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	1.357 a	3.205 b	4.590 b	9.153 c	18.28 ab	23.168 a	26.34 ab	27.800 a	44.630 a	27.800 a	67.568 a	72.815 a
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	1.285 a	3.595 b	8.030 a	11.578 c	15.475 b	16.838 bc	22.44 b	20.060 a	15.805 c	20.068 a	34.910 b	31.698 bc
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	1.347 a	5.600 a	7.185 ab	20.623 a	19.803 ab	19.686 ab	29.68 a	38.868 a	21.648 c	38.868 a	42.628 b	45.763 cb
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	1.392 a	3.177 b	6.325 ab	19.508 a	17.130 ab	18.973 b	31.55 a	29.785 a	37.125 ab	29.785 a	36.568 b	47.138 b
<b>DMH</b>	0.1872	1.7778	2.8735	3.2771	8.0826	4.0807	7.1721	22.335	14.939	22.12	19.316	18.265
	<b>Peso seco hoja (g)</b>											
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	1.53 a	3.74 a	6.40 a	16.02 a	17.27 b	12.44 b	16.28 bc	16.28 b	19.33 ab	16.550 a	18.28 c	31.20 a
<b>Cortes F<sub>1</sub></b>	1.59 a	3.83 a	7.14 a	17.50 a	22.71 a	14.95 ab	16.60 b	16.28 b	24.52 a	30.56 a	20.85 cb	31.20 a
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	1.59 a	4.23 a	5.98 a	9.69 b	20.10 ab	18.20 ab	15.65 bc	17.15 b	20.15 ab	22.43 a	33.18 b	33.62 a
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	1.57 a	4.23 a	6.46 a	10.57 b	15.30 b	17.89 ab	15.41 bc	14.14 b	11.07 b	19.95 a	14.89 c	23.77 a
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	1.59 a	2.98 a	7.64 a	18.97 a	18.36 ab	19.55 a	23.61 a	27.23 a	16.25 ab	28.52 a	48.55 a	23.92 a
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	1.62 a	2.98 a	7.14 a	18.40 a	18.66 ab	18.40 ab	14.08 c	23.42 a	24.88 a	23.58 a	16.71 c	33.78 a
<b>DSH</b>	0.187	1.797	3.428	4.213	4.963	6.711	4.033	5.9937	11.35	19.831	12.605	15.5
	<b>Peso seco fruto (g)</b>											
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	0 a	0 a	.0075 a	6.350 ab	7.855 a	35.870 b	134.41 bc	92.410 a	58.895 a	31.69 ab	32.91 ab	48.700 c
<b>Cortes F<sub>1</sub></b>	0 a	0 a	0.075 a	10.875 a	8.018 a	46.345 ab	216.43 a	110.678 a	30.060 b	151.30 ab	40.90 ab	48.813 c
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	0 a	0 a	0.025 a	6.623 ab	5.2 ab	35.333 b	55.52 cd	41.030 c	2.828 b	16.59 b	13.51 b	49.220 c
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	0 a	0 a	0.077 a	3.273 b	3.190 b	58.475 a	40.33 d	39.678 c	15.288 b	226.05 a	44.2 ab	78.588 b
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	0 a	0 a	0.375 a	7.378 ab	3.188 b	56.070 a	162.26 ab	63.825 b	18.870 b	29.21 b	29.32 ab	94.800 ab
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	0 a	0 a	0.200 a	4.778 b	3.715 b	30.143 b	56.14 cd	21.263 c	9.380 b	31.01 ab	54.21 a	112.930 a
<b>DSH</b>	0	0	0.5911	6.033	3.8839	19.937	79.924	22.152	27,74	196.63	39.041	23.59

DSH: Diferencia Significativa Honesta; <sup>#</sup> Valores de medias por columnas que comparten misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, p ≤ 0.05).

**Cuadro 13.** Porcentajes de materia seca por órgano durante el ciclo del cultivo de los diferentes tipos de pimientos (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum), Chapingo, México 2016.

Tratamiento	Unidades calor											
	6.45	93.65	136.4	183.9	220.1	260.9	314.05	359.25	409.2	444.75	484.3	497.7
	<b>Peso seco tallo (%)</b>											
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	44.30	49.23	46.40	40.61	38.11	21.11	13.93	18.32	24.63	27.56	35.74	25.97
<b>Cortes F<sub>1</sub></b>	45.33	50.75	48.35	39.53	45.00	24.91	8.10	16.11	33.15	11.82	31.69	25.94
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	46.00	43.06	43.32	35.93	41.95	30.20	27.01	32.33	66.01	41.60	59.15	46.78
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	44.85	45.90	55.09	45.54	39.16	18.07	28.70	27.15	37.48	7.54	37.14	23.64
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	45.79	65.21	47.24	43.90	47.88	20.62	13.77	29.92	38.13	40.24	35.38	27.82
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	46.22	51.53	46.29	45.70	43.35	28.10	31.00	40.00	52.02	35.30	34.02	24.31
	<b>Peso seco hoja (%)</b>											
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	55.70	50.76	52.96	42.53	42.53	20.32	9.30	12.23	18.60	24.85	22.95	28.91
<b>Cortes F<sub>1</sub></b>	54.60	50.46	51.09	37.29	40.64	18.31	6.49	10.76	30.03	14.82	23.07	28.88
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	53.90	56.83	56.44	38.04	46.13	23.73	16.05	19.95	29.80	33.56	29.04	21.60
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	54.80	54.00	44.32	41.57	38.72	19.19	19.71	19.14	26.25	7.50	15.84	17.73
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	54.04	34.70	50.24	40.38	44.39	20.47	10.95	20.96	28.62	29.52	40.29	14.54
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	53.78	48.34	52.25	43.10	47.22	27.25	13.84	31.45	34.86	27.95	15.55	17.42
	<b>Peso seco fruto (%)</b>											
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	0	0	0.06	16.86	19.35	58.59	76.77	69.43	56.67	47.59	41.32	45.12
<b>Cortes F<sub>1</sub></b>	0	0	0.54	23.17	14.35	56.77	84.62	73.13	36.82	73.36	45.25	45.18
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	0	0	0.24	26.00	11.93	46.06	56.94	47.72	4.18	24.82	11.83	31.62
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	0	0	0.53	12.87	8.07	62.74	51.58	53.71	36.25	84.96	47.02	58.62
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	0	0	2.47	15.71	7.71	58.72	75.28	49.13	33.24	30.24	24.33	57.63
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	0	0	1.46	11.19	9.40	44.64	55.16	28.55	13.14	36.75	50.43	58.25

**Cuadro 14.** Comparación de medias de Peso seco total durante el ciclo del cultivo de los diferentes tipos de pimientos (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum), Chapingo, México 2016.

Tratamiento	Unidades calor											
	6.45	93.65	136.4	183.9	220.1	260.9	314.05	359.25	409.2	444.75	484.3	497.7
	Peso seco Total (g)											
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	2.747 ab <sup>#</sup>	7.368 a	12.085 a	37.668 b	40.603 b	61.225 b	175.08 ab	133.09 a	103.93 a	66.59b	79.65 a	107.93 c
<b>Cortes F<sub>1</sub></b>	2.912 ab	7.590 a	13.975 a	46.928 a	55.883 a	81.635 ab	255.76 a	151.35 a	81.65 ab	206.25 ab	90.39 a	108.05 c
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	2.950 ab	7.443 a	10.595 a	25.473 c	43.575 ab	76.705 ab	97.51 bc	85.98 b	67.61 abc	66.83 b	114.24 a	155.66 b
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	2.865 ab	7.833 a	14.575 a	25.425 c	39.513 b	93.205 a	78.19 c	73.88 b	42.17 c	266.08 a	94.00 a	134.06 bc
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	2.942 ab	8.588 a	15.208 a	46.975 a	41.358 b	95.493 a	215.55 a	129.92 a	56.77 bc	96.6 ab	120.5 a	164.49 ab
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	3.012 a	6.165 a	13.665 a	42.690 ab	39.513 b	67.525 b	101.77 bc	74.47 b	71.37 abc	84.38 b	107.49 a	193.87 a
<b>DSH</b>	0.2347	3.3967	5.8993	8.9485	12.5620	25.2460	81.5460	32.9330	38.2180	196.3900	56.6400	33.8980

DSH: Diferencia Significativa Honesta; <sup>#</sup> Valores de medias por columnas que comparten misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, p≤ 0.05).

**Cuadro 15.** Comparación de medias del contenido y extracción de nitrógeno (N) en la parte aérea de la planta durante el ciclo del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* var Botánia Grossum). Chapingo, México 2016.

Tratamiento	Unidades Calor (UC)										
	6.45	93.65	136.4	183.9	220.1	260.9	314.05	359.25	409.2	444.75	484.3
	<b>Contenido de N (%)</b>										
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	3.76 b <sup>#</sup>	3.64 b	3.71 ab	3.45 c	4.22 a	2.74 ab	2.78 a	2.58 ab	2.91 a	2.51 b	3.02 a
<b>Cortez F<sub>1</sub></b>	3.76 b	3.47 b	3.87 a	3.47 c	3.93 ab	2.77 ab	2.64 a	2.79 ab	3.06 a	2.47 b	2.78 a
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	3.70 b	4.46 a	3.72 ab	3.03 d	3.17 c	3.2 a	2.61 a	2.6 ab	2.65 a	2.91 ab	3.03 a
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	4.33 a	3.69 b	3.98 a	3.58 bc	2.96 c	2.67 b	2.80 a	2.63 ab	2.91 a	2.94 ab	2.94 a
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	3.85 b	3.37 b	3.82 a	3.82 ab	2.95 c	2.82 ab	2.88 a	2.42 b	3.05 a	3.52 a	2.95 a
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	3.62 b	3.59 b	3.14 b	4.03 a	3.24 bc	2.91 ab	2.94 a	2.87 a	3.01 a	3.02 ab	3.00 a
<b>DMH</b>	0.2758	0.3721	0.6442	0.3209	0.7225	0.4762	0.4793	0.4441	0.478	0.7207	0.5172
	<b>Extracción N (g-Planta<sup>-1</sup>)</b>										
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	0.23 a	0.75 a	1.33 ab	2.44 ab	3.57 ab	5.87 abc	9.54 b	12.70 b	16.32 c	18.27 c	19.1721 c
<b>Cortez F<sub>1</sub></b>	0.21 a	0.77 a	1.46 a	2.84 a	4.56 a	7.63 a	12.42 a	17.21 a	21.31 a	23.14 a	25.15 a
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	0.13 a	0.48 ab	0.92 abc	1.72 b	2.74 b	4.28 c	5.98c	8.41 c	10.49 d	11.71 e	12.51 e
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	0.19 a	0.52 ab	1.06 abc	1.94ab	3.22 ab	5.24 bc	7.87 cb	9.52 c	1064 d	11.58 e	11.23 f
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	0.04 a	0.30 b	0.72 c	1.83 b	3.54 ab	6.67 ab	12.22 a	16.15 a	18.27 b	19.21 b	20.12 b
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	0.13 a	0.39 b	0.88 bc	1.64 b	2.76 b	4.38 c	7.13 cb	9.66 c	11.89 c	13.08 d	13.83 d
<b>DMH</b>	0.2002	0.357	0.6015	0.9562	1.351	2.2055	2.5342	1.9506	1.726	0.69	0.5949

DSH: Diferencia Significativa Honesta; # Valores de medias por columnas que comparten misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 16.** Comparación de medias del contenido y extracción de Fósforo (P) en la parte aérea de la planta durante el ciclo del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). Chapingo, México 2016.

Tratamiento	Unidades Calor (UC)										
	6.45	93.65	136.4	183.9	220.1	260.9	314.05	359.25	409.2	444.75	484.3
	<b>Contenido de P (%)</b>										
4212 F <sub>1</sub>	0.47 a <sup>#</sup>	0.52 bc	0.49 b	0.36 b	0.45 a	0.47 ab	0.43 a	0.35 b	0.25 c	0.35 bc	0.32 b
Cortez F <sub>1</sub>	0.44 a	0.51 c	0.53 b	0.41 ab	0.52 a	0.57 a	0.42 a	0.36 b	0.31 b	0.30 c	0.30 b
Prometeo F <sub>1</sub>	0.41 a	0.62 ab	0.56 ab	0.42 ab	0.44 a	0.48 ab	0.46 a	0.47 a	0.4 a	0.38 ab	0.38 a
Aristeo F <sub>1</sub>	0.46 a	0.65 a	0.68 a	0.49 a	0.41 a	0.46 b	0.49 a	0.38 b	0.34 b	0.37 ab	0.31 b
Anabel F <sub>1</sub>	0.49 a	0.59 ab	0.52 b	0.5 a	0.36 a	0.4 b	0.44 a	0.37 b	0.32 b	0.41 a	0.34 ab
Araceli F <sub>1</sub>	0.47 a	0.62 ab	0.57 ab	0.46 a	0.41 a	0.57 a	0.43 a	0.39 b	0.31 b	0.36 ab	0.38 a
DSH	0.0914	0.0697	0.1392	0.0954	0.1663	0.1021	0.0706	0.0759	0.0525	0.0506	0.4275
	<b>Extracción P (g·Planta<sup>-1</sup>)</b>										
4212 F <sub>1</sub>	0.0002 a	0.015 ab	0.11 a	0.66 a	1.19 a	1.41 a	1.45 bc	1.45 c	151 d	1.45 d	1.45 d
Cortez F <sub>1</sub>	0.0021 a	0.022 ab	0.08 ab	0.29 b	0.68 b	1.25 ab	1.95 a	2.19 a	2.23 a	2.23 a	2.25 a
Prometeo F <sub>1</sub>	0.015 a	0.05 a	0.13 a	0.8 b	0.52 cb	0.90 ab	1.22 bc	1.52 c	1.67 c	1.76 c	1.78 c
Aristeo F <sub>1</sub>	0.001 a	0.0012 b	0.019 b	0.11 c	0.36 c	0.86 ab	1.22 bc	1.26 d	1.29 e	1.30 f	1.31 f
Anabel F <sub>1</sub>	0.005	0.0021 b	0.01 b	0.10 c	0.32 c	0.95 ab	1.64 ab	1.93 b	1.98 b	1.97 b	1.98 b
Araceli F <sub>1</sub>	0.002 a	.0021 ab	0.072 ab	0.22 bc	0.42 bc	0.81 b	1.16 c	1.29 d	1.34 e	1.35 e	1.35 e
DSH	0.0197	0.0406	0.0893	0.1521	0.2864	0.5712	0.4346	0.1077	0.0758	0.0412	0.0312

DSH: Diferencia Significativa Honesta; # Valores de medias por columnas que comparten misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 17.** Comparación de medias del contenido y extracción de Potasio (K) en la parte aérea de la planta durante el ciclo del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). Chapingo, México 2016.

Tratamiento	Unidades Calor (UC)										
	6.45	93.65	136.4	183.9	220.1	260.9	314.05	359.25	409.2	444.75	484.3
	<b>Contenido de K (%)</b>										
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	8.95 a <sup>#</sup>	6.93 a	5.95 a	6.3 c	5.81 ab	5.96 b	5.63 a	5.2 b	6.13 b	4.69 a	5.12 a
<b>Cortez F<sub>1</sub></b>	8.73 ab	6.28a	6.01 a	7.45 a	6.54 a	5.97 b	5.57 a	6.85 a	7.15 a	4.74 a	4.96 ab
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	8.34 ab	6.36 a	6.67 a	7.06 ab	5.46 ab	6.08 b	5.65 a	5.47 b	4.74 bc	5.11 a	4.54 bc
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	7.98b	6.71 a	6.16 a	6.52 bc	4.85 b	5.91 b	5.89 a	5.33 b	4.61 bc	4.8 a	4.43 c
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	7.96b	7.23 a	6.44 a	6.55 bc	5.64 ab	6.85 a	6.31 a	6.81 a	5.37 c	5.25 a	4.75 abc
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	8.4 ab	6.33 a	5.78 a	6.3 c	5.73 ab	6.08 b	5.79 a	7.21 a	4.77 bc	4.72 a	4.92 ab
<b>DSH</b>	0.9672	1.3729	1.1791	0.6564	1.1323	0.4212	0.9164	0.7661	0.6628	1.1194	0.4391
	<b>Extracción K (g·Planta<sup>-1</sup>)</b>										
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	0.16 b	0.72 b	1.49 b	3.28 b	5.74 d	10.25 c	18.95 b	27.18 b	34.23 b	38.25 b	40.27 b
<b>Cortez F<sub>1</sub></b>	0.24 a	1.42 a	2.18 a	4.55 a	7.98 a	13.34 b	26.27 a	38.29 a	49.34 a	55.35 a	59.84 a
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	0.06 c	0.42 bcd	1.04 d	2.65 c	5.04 e	9.15 d	14.25 d	18.21 c	19.29 d	20.26 d	20.44 d
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	0.02 d	0.12 d	0.46 f	1.77 d	4.36 f	9.38 d	14.17 d	16.34 c	17.42 e	17.22 e	17.37 e
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	0.016 d	0.20 cd	0.71 e	2.54 c	6.70 b	15.22 a	26.43 a	29.60 b	32.54 c	33.17 c	33.18 c
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	0.083 c	0.52 cb	1.29 c	3.28 b	6.11 c	10.3 c	15.62 c	18.37 c	20.21 d	20.15 d	20.17 d
<b>DSH</b>	0.0334	0.3677	0.1425	0.3804	0.3142	0.2378	0.5945	3.3728	1.481	0.3294	0.3666

DSH: Diferencia Significativa Honesta; # Valores de medias por columnas que comparten misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 18.** Comparación de medias del contenido y extracción de Calcio (Ca) en la parte aérea de la planta durante el ciclo del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* var Botánica Grossum). Chapingo, México 2016.

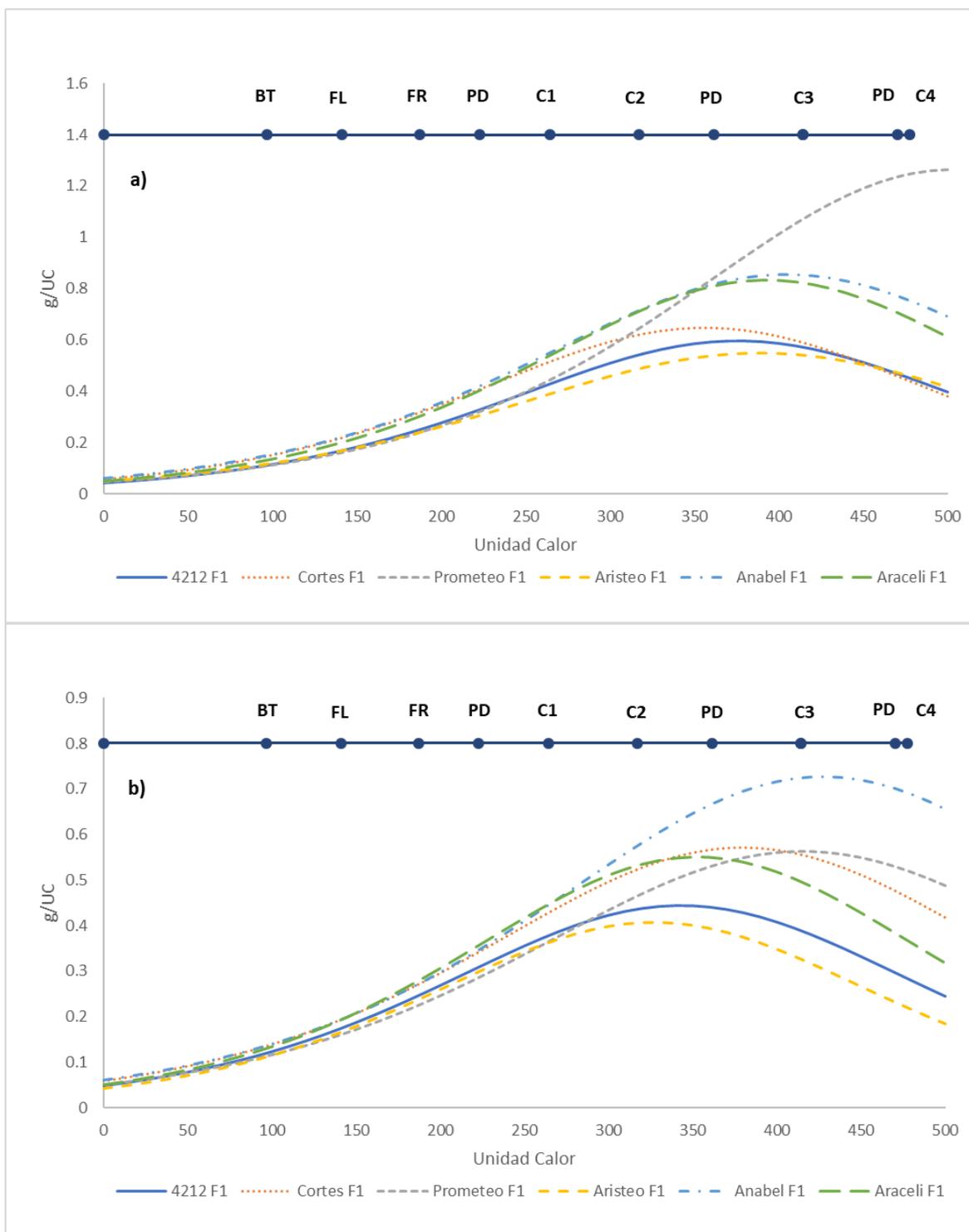
Tratamiento	Unidades Calor (UC)										
	6.45	93.65	136.4	183.9	220.1	260.9	314.05	359.25	409.2	444.75	484.3
	<b>Contenido de Ca (%)</b>										
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	1.37 b <sup>#</sup>	2.23 a	1.59	2.54 ab	2.35 a	1.95 a	0.35 a	0.43 a	0.41 a	0.43 a	0.45 a
<b>Cortez F<sub>1</sub></b>	2.28 a	1.9 a	1.66	2.7 a	1.28 a	0.87 a	0.51 a	0.73 a	0.53 a	0.38 a	0.29 a
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	2.34 a	2.01 a	1.8	2.03 ab	1.25 a	0.77 a	0.39 a	0.46 a	0.54 a	0.27 a	0.31 a
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	2.13 a	1.94 a	1.76	1.88 b	1.2 a	0.47 a	0.46 a	0.57 a	0.58 a	0.36 a	0.26 a
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	2.01 a	1.91 a	1.43	2 b	1.14 a	0.51 a	0.46 a	0.38 a	0.34 a	0.38 a	0.24 a
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	1.8 a	1.83 a	2.13	2.72 a	1.35 a	0.51 a	0.4 a	0.33 a	0.44 a	0.41 a	0.35 a
<b>DSH</b>	0.5251	1.116	1.8715	0.6916	1.418	1.5988	0.2701	0.5156	0.4931	0.4309	0.2278
	<b>Extracción Ca (g-Planta<sup>-1</sup>)</b>										
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	0.0003 f	0.1183 e	1.04 a	1.78 a	1.83 a	1.84 ab	1.84 b	1.84 c	1.84 cb	1.84 d	1.84 e
<b>Cortez F<sub>1</sub></b>	0.065 c	0.27966 b	0.54 bc	1.01 b	1.48 b	2.00 a	2.52 a	2.77 a	2.9 a	2.95 a	2.98 a
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	0.185 a	0.35821 a	0.48 cd	0.65 d	0.81 e	1.00 e	1.25 d	1.46 e	1.66 cd	1.79 e	1.9 d
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	0.174 b	0.3615 a	0.5 b	0.69 d	0.86 d	1.07 d	1.34 c	1.54 d	1.73 cb	1.83 c	1.93 c
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	0.0164 d	0.1441 d	0.37 d	0.87 c	1.33 c	1.72 b	1.94 b	2.01 b	2.03 b	2.03 b	2.04 b
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	0.0114 e	0.16313 c	0.49 cd	1.06 b	1.34 c	1.46 c	1.5 c	1.51 e	1.51 d	1.51 f	1.51 f
<b>DSH</b>	0.0036	0.0104	0.1312	0.1166	0.1312	0.2203	0.1404	0.0886	0.2727	0.0504	0.0435

DSH: Diferencia Significativa Honesta; # Valores de medias por columnas que comparten misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, p ≤ 0.05).

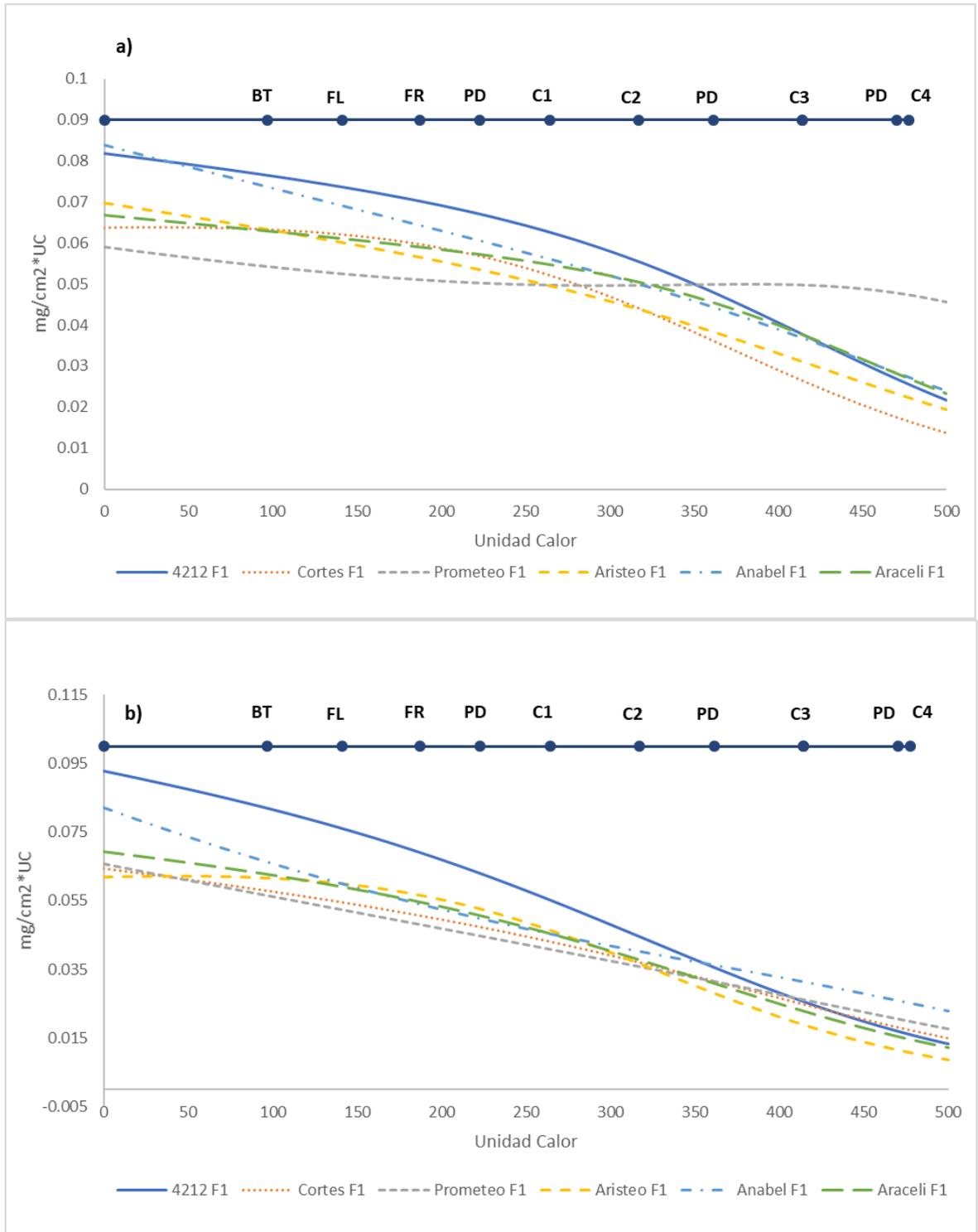
**Cuadro 19.** Comparación de medias del contenido y extracción de Magnesio (Mg) en la parte aérea de la planta durante el ciclo del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). Chapingo, México 2016.

Tratamiento	Unidades Calor (UC)										
	6.45	93.65	136.4	183.9	220.1	260.9	314.05	359.25	409.2	444.75	484.3
	<b>Contenido de Mg (%)</b>										
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	0.58 a <sup>#</sup>	0.92 a	0.63 a	0.89 a	1.14 a	1.21 a	0.53 a	0.56 a	0.51 a	0.42 a	0.45 a
<b>Cortez F<sub>1</sub></b>	0.81 a	0.85 a	0.64 a	1.00 a	0.89 a	0.77 ab	0.42 a	0.75 a	0.33 a	0.31 a	0.22 a
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	1.02 a	0.97 a	0.87 a	0.96 a	0.88 a	0.46 b	0.3 a	0.33 a	0.38 a	0.34 a	0.3 a
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	0.95 a	1.04 a	0.91 a	1.14 a	1.08 a	0.42 b	0.41 a	0.51 a	0.6 a	0.45 a	0.28 a
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	0.99 a	0.83 a	0.73 a	0.93 a	1.06 a	0.47 b	0.42 a	0.39 a	0.33 a	0.43 a	0.27 a
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	0.8 a	0.99 a	0.107 a	1.25 a	0.96 a	0.56 b	0.39 a	0.39 a	0.44 a	0.44 a	0.42 a
<b>DSH</b>	0.6755	0.6003	0.5385	0.4169	0.6841	0.6464	0.2877	0.6396	0.4766	0.3382	0.2477
	<b>Extracción Mg (g-Planta<sup>-1</sup>)</b>										
<b>4212 F<sub>1</sub></b>	0.068 a	0.21 d	0.35 b	0.62 b	0.9 c	1.31 c	1.93 b	2.42 a	2.84 a	3.06 a	3.19 a
<b>Cortez F<sub>1</sub></b>	0.012 b	0.095 e	0.24 d	0.62 b	1.07 b	1.6 b	2.04 a	2.2 a	2.26 b	2.28 b	2.24 b
<b>Prometeo F<sub>1</sub></b>	0.11 ab	0.22 c	0.29 c	0.41 e	0.52 f	0.68 f	0.95 d	1.22 c	1.57 f	1.83 d	2.14 bc
<b>Aristeo F<sub>1</sub></b>	0.12 ab	0.25 b	0.35 b	0.51 d	0.67 e	0.87 e	1.18 c	1.46 c	1.75 e	1.94 c	2.12 c
<b>Anabel F<sub>1</sub></b>	0.005 b	0.006 f	0.22 e	0.68 a	1.2 a	1.65 a	1.89 b	1.94 b	1.96 c	1.96 c	1.97 d
<b>Araceli F<sub>1</sub></b>	0.11 ab	0.26 a	0.38 a	0.55 c	0.72 d	0.95 d	1.27 c	1.54 c	1.81 d	1.97 c	2.13 bc
<b>DSH</b>	0.4059	0.0056	0.0099	0.0069	0.042	0.0128	0.0801	0.2383	0.0496	0.0353	0.1162

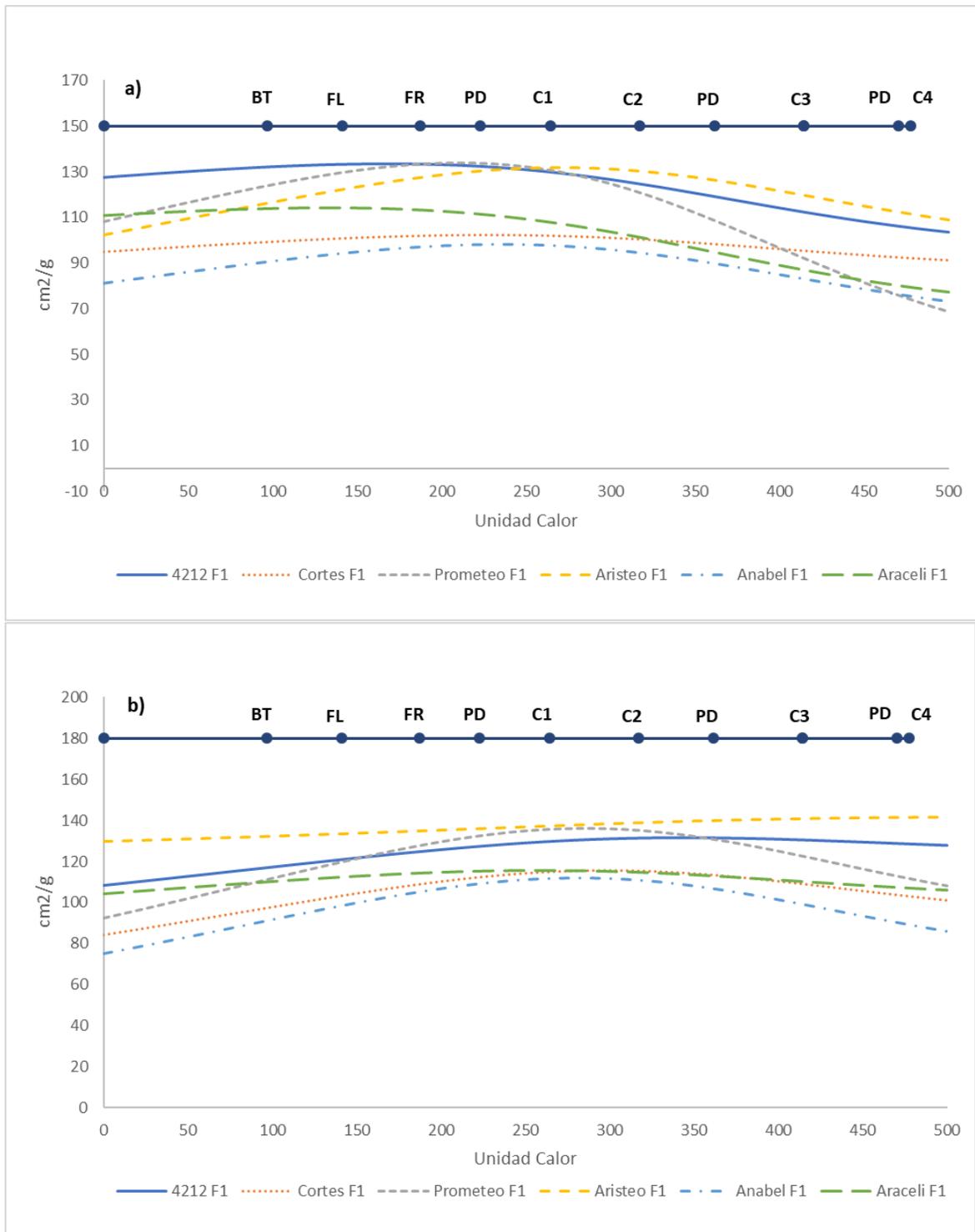
DSH: Diferencia Significativa Honesta; <sup>#</sup> Valores de medias por columnas que comparten misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, p ≤ 0.05).



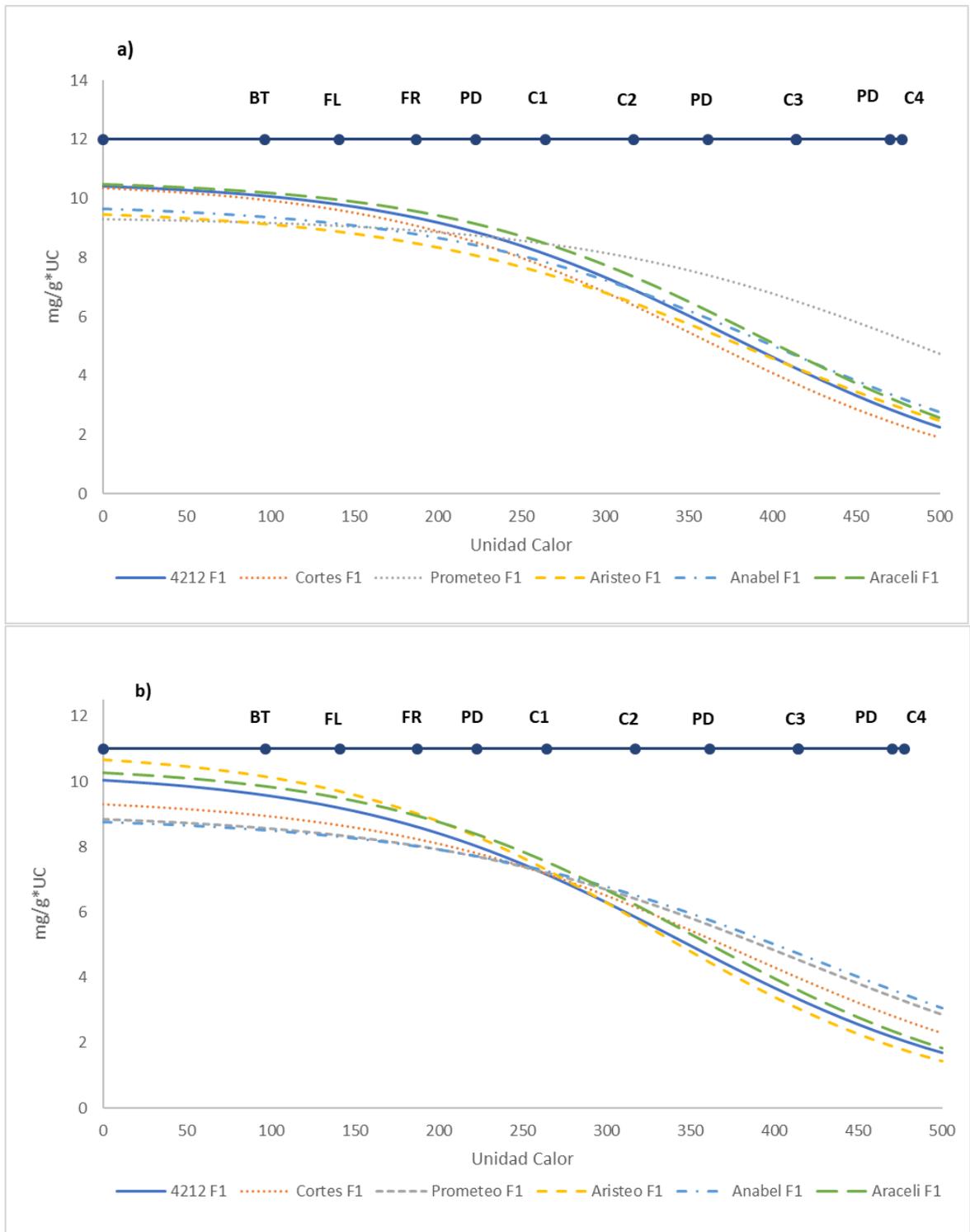
**Figura 11.** Tasa de crecimiento absoluto en tallo (a) y hoja (b), durante el ciclo de cultivo de los pimientos (*Capsicum annum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.



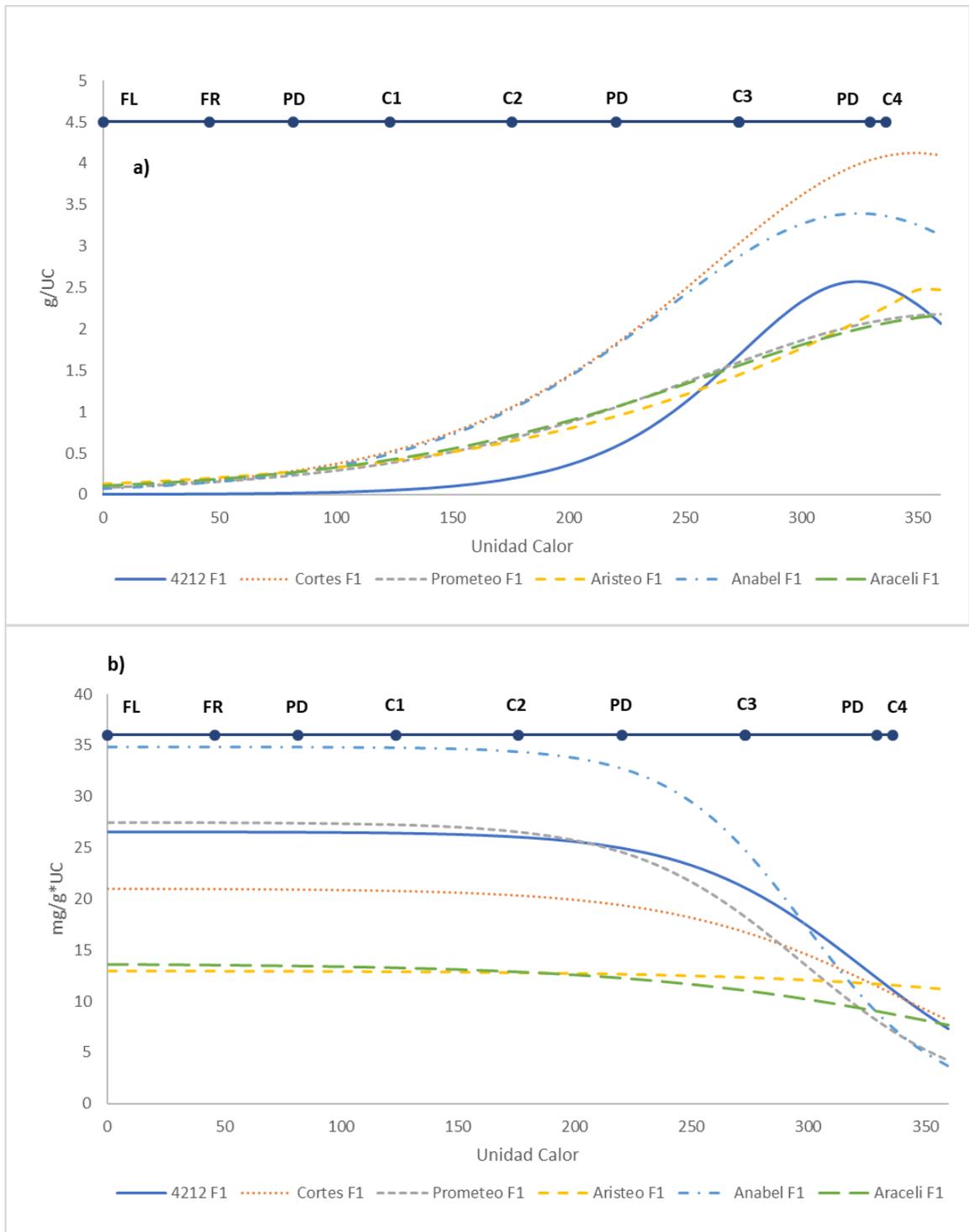
**Figura 12.** Tasa de asimilación neta de tallo (a), y hoja (b), durante el ciclo de cultivo de los pimientos (*Capsicum annum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.



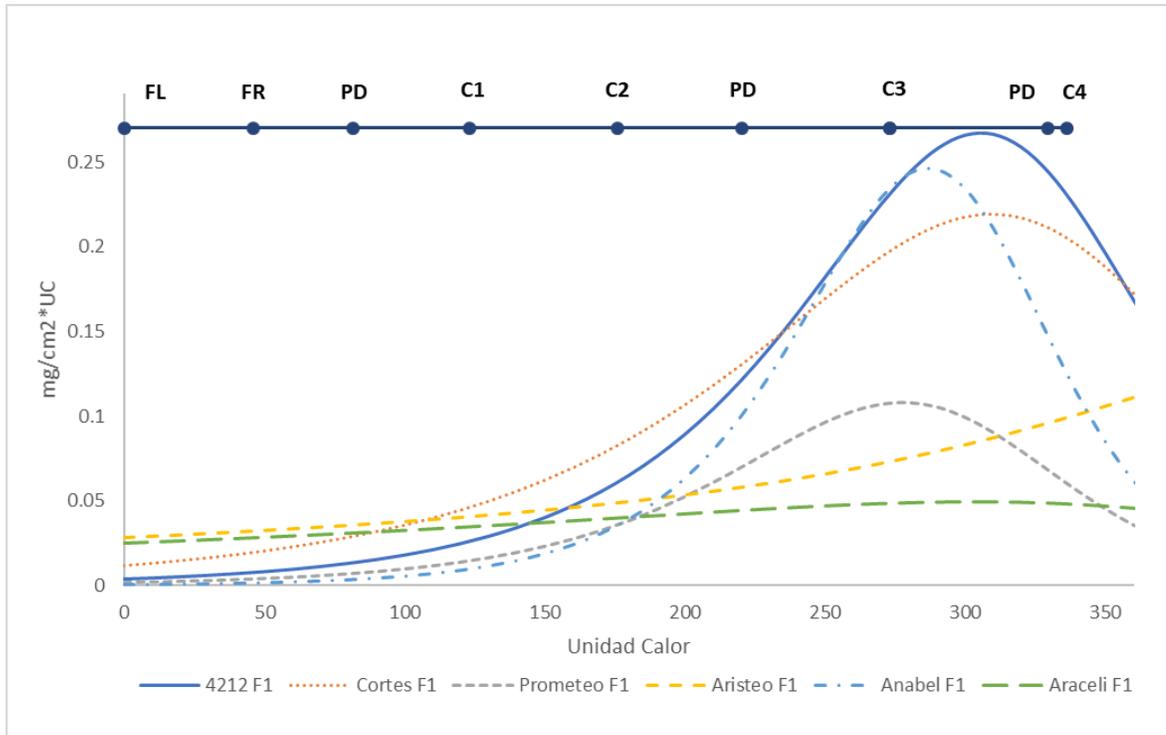
**Figura 13.** Razón de área foliar de tallo (a) y hoja (b), durante el ciclo de cultivo de los pimientos (*Capsicum annum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.



**Figura 14.** Tasa de crecimiento relativo de tallo (a) y hoja (b), durante el ciclo de cultivo de los pimientos (*Capsicum annum* var Botánica Grossum). BT: Bifurcación del tallo, FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.



**Figura 15.** a) Tasa de crecimiento absoluto (TAC) de fruto, b) Tasa de crecimiento relativo (TRC) de fruto, durante el ciclo de cultivo de los pimientos (*Capsicum annum* var Botánica Grossum). FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.



**Figura 16.** Tasa de asimilación neta (TAN) de fruto, durante el ciclo de cultivo de los pimientos (*Capsicum annuum* var Botánica Grossum). FL: Floración, FR: Formación de Fruto, C: Maduración del fruto y C1, C2, C3, C4 cortes de fruto, PD: Poda. Chapingo, México 2016.