



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

DINÁMICA DE CRECIMIENTO EN DOS VARIEDADES DE *Cucurbita pepo* L. CULTIVADAS EN TEZONTLE CON TRES GRANULOMETRÍAS.

T E S I S PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

PRESENTA ALBERTO TONATIUH ANDRADE RUIZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. GUMERCINDO H. DE LA CRUZ GUZMAN

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, Marzo 2022.





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

No estamos condenados, en el gran orden del universo.
Solo somos pequeñas luces que un día serán olvidadas,
no importa que hicimos en el pasado o como seremos recordados,
lo único que importa es el presente, el momento, este espectacular momento
que estamos compartiendo juntos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi madre, mi padre, mi hermana "Itza" y mi perry, por siempre estar a mi lado durante este trayecto, sé que estarán ahí para mí, así como yo para ustedes por siempre.

Les doy gracias a las personas que se han ido poco a poco durante estos últimos años y, sin embargo, aún permanecen conmigo.

A Viri, por ser el amor de mi vida y siempre estar a mi lado, siempre te apoyare en todo y afrontaremos todo sin importar las circunstancias, te amo michí y agradezco cada instante a tu lado.

Tiene mi inmensa gratitud la Universidad Nacional Autónoma de México, así como a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, por brindarme la oportunidad de tener una formación tanto profesional como humana, en la que por medio de ella eh conocido excelentes personas y tengo el orgullo de formar parte de esta institución.

Al Dr. Gumercindo H. De la Cruz Guzmán, por el apoyo y la atención prestada durante el transcurso de este trabajo; tanto en lo académico como en lo personal, aconsejándome a no desistir y continuar con mi labor profesional, marcando mis metas a futuro.

A los profesores: M. en C. Alberto Arriaga Frías, Dr. Manuel Mandujano Piña, M. en C. Mayra M. Hernández Moreno y la M. en C. Roció Reyero Saavedra, por sus valiosas aportaciones y apoyo durante la elaboración de este proyecto.

Índice

1.0 RESUMEN.....	8
2.0 INTRODUCCION	9
3.0 REVISION DE LITERATURA	11
3.1 Cultivo de hortalizas en México.....	11
3.2 Características botánicas de la calabacita	12
3.3 Ubicación taxonómica	15
3.4 Requerimientos ambientales para el cultivo de calabacita (<i>C. pepo</i>).....	16
3.5 Cultivo y rendimiento de calabacita.....	16
3.5.1 Variables que indican crecimiento.....	17
3.5.2 Dinámica de crecimiento	18
3.3.3 Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa por dosel	21
3.6 Sustratos	21
3.6.1 Los sustratos y los cultivos	21
3.6.2. La granulometría de los sustratos en los cultivos hortícolas	22
3.7 Las soluciones nutritivas en el cultivo de hortalizas	23
4.0 OBJETIVOS E HIPOTESIS	24
4.1 Objetivo general	24
4.2 Objetivos particulares.....	24
4.3 Hipótesis General.....	24
5.0 MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
5.1 Ubicación del experimento y obtención de los materiales.....	25
5.2 Preparación del sustrato y separación por tamaño de partículas.	25
5.3 Germinación, trasplante y diseño de tratamientos	26
5.4 Variables de respuesta	28
5.5 Análisis estadístico.....	30
6.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31

6.1 Temperatura, humedad relativa, intensidad luminosa.....	31
6.2 Variables evaluadas desde el trasplante hasta la floración.....	33
6.2.1 Altura de las plantas.....	33
6.2.2. Diámetro del tallo	34
6.2.3. Número de Hojas	35
6.2.4. Área Foliar.....	37
6.3 Dinámica de crecimiento	39
6.3.1 Tasa de crecimiento relativo (TCR).....	39
6.3.2. Tasa de asimilación neta (TAN)	41
6.3.3. Área foliar específica (AFE).....	43
6.3.4. Relación de área foliar (RAF).....	45
6.3.7. Relación de peso foliar (RPF)	47
6.3.8 Relación vástago/raíz (V/R)	49
6.4. Evaluaciones durante la cosecha.....	52
6.4.1. Numero de botones florales, peso, volumen y número de frutos	52
6.4.2 Longitud, peso fresco y peso seco de raíces, índice de cosecha	54
7.0 CONCLUSIONES	58
8.0 LITERATURA CITADA	59

Índice de cuadros

Cuadro 1. Producción agrícola en México en el año 2018 (SAGARPA, 2018).....	11
Cuadro 2. Principales estados productores de calabacita en la República Mexicana. (SAGARPA-SIAP, 2014).....	12
Cuadro 3. Diseño de tratamientos del cultivo de Cucurbita pepo L.	27
Cuadro 4. Tasa relativa de crecimiento (g g^{-1}) en plantas de calabacita, variedades Round zucchini y Gray zucchini, cultivadas en tezontle con granulometrías de tres diámetros.	39
Cuadro 5. Combinaciones de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato para la variable TCR.....	40
Cuadro 6. Tasa de asimilación neta (mg cm^{-2}) en plantas de calabacita, variedades Round zucchini y Gray zucchini, cultivadas en tezontle con granulometrías de tres diámetros.	41
Cuadro 7. Combinaciones de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato para la variable TAN.....	43
Cuadro 8. Área foliar específica (adimensional) en plantas de calabacita, variedades Round zucchini y Gray zucchini, cultivadas en tezontle con granulometrías de tres diámetros.	44
Cuadro 9. Combinaciones de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato para la variable AFE.	45
Cuadro 10. Relación de área foliar ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) en plantas de calabacita, variedades Round zucchini y Gray zucchini, cultivadas en tezontle con granulometrías de tres diámetros.	46
Cuadro 11. Relación de peso foliar ($\text{g}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$) en plantas de calabacita, variedades Round zucchini y Gray zucchini, cultivadas en tezontle con granulometrías de tres diámetros.	48
Cuadro 12. Combinaciones de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato para la variable RPF.....	49

Cuadro 13. Relación Vástago Raíz ($g\ g^{-1}$) en plantas de calabacita, variedades Round zucchini y Gray zucchini, cultivadas en tezontle con granulometrías de tres diámetros.	50
Cuadro 14. Numero de botones florales, peso, volumen y número de frutos calabacita, variedades Round zucchini y Gray zucchini, cultivadas en tezontle con granulometrías de tres diámetros.	52
Cuadro 15. Combinaciones de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato para las variables número de botones florales, peso, volumen y número de fruto.	53
Cuadro 16. Longitud de raíces, peso fresco y seco de la raíz e índice de cosecha de calabacita var. Round y Gray zucchini cultivadas en tezontle con tres diámetros de partícula.....	55

Índice de figuras

Figura 1. Calabacita (<i>Cucurbita pepo</i> L.)	12
Figura 2. Lámina foliar de calabacita.	13
Figura 3. Morfología de la raíz de calabacita.	13
Figura 4. Flor masculina (A) y femenina (B) de calabacita.	14
Figura 5. Frutos de calabacita, variedad Gray zucchini (A) y variedad Round zucchini (B)..	15
Figura 6. Tamices utilizados para separar las partículas de tezontle. A, tamiz de número 10, 2 mm; B, tamiz del número 6, 3 mm; C, tamiz del 4, 5 mm.	26
Figura 7. Temperatura (A), humedad relativa (B) e intensidad luminosa (C) en el interior del invernadero de la UMF durante el periodo de abril a julio de 2018.	32
Figura 8. Altura de la planta en calabacita variedades Gray zucchini (A) y Round zucchini (B) cultivadas en tezontle con partículas de tres granulometrías.....	34
Figuras 9. Diámetro del tallo de las plantas en dos variedades de calabacita cultivadas en tezontle con partículas de tres granulometrías. A, variedad Gray zucchini; B, variedad Round zucchini..	35
Figura 10. Número de hojas de las plantas en dos variedades de calabacita cultivadas en tezontle con partículas de tres granulometrías. A, variedad Gray zucchini; B, variedad Round zucchini..	36
Figuras 11. Área foliar de las plantas en dos variedades de calabacita cultivadas en tezontle con partículas de tres granulometrías. A, variedad Gray zucchini; B, variedad Round zucchini..	38
Figura 12. Mapa radical calabacita Gray o Round zucchini cultivadas en diferentes granulometrías de tezontle.	56

1.0 RESUMEN

Durante el periodo de abril a julio de 2018, se evaluó el efecto de tres granulometrías de tezontle (2, 3 y 5 mm) en el cultivo de *Cucurbita pepo* variedades Gray Zucchini y Round Zucchini. La siembra se realizó en charolas de unicel de 200 cavidades rellenas con peat moss. Dos semanas después, noventa plántulas de calabacita Gray o Round Zucchini se trasplantaron en treinta bolsas de polietileno negro conteniendo 2 L de tezontle con granulometría de 2, 3 o 5 mm. Los tratamientos con diez repeticiones fueron las tres granulometrías del tezontle, en cada unidad experimental se colocaron tres plántulas de una u otra variedad de calabacita. Durante la fase vegetativa se evaluó altura de la planta, diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH), área foliar (AF) y dinámica de crecimiento. En la floración se evaluó el rendimiento, considerado como el número de botones florales, peso, volumen y número de frutos, índice de cosecha y longitud de raíces. Los valores de altura de la planta, DT, NH o AF fueron similares en ambas variedades de calabacita cultivadas en tezontle con cualquier granulometría. La producción de biomasa fue mayor cuando el cultivo se realizó en tezontle con granulometrías de 3 y 5 mm. El rendimiento, expresado como número de flores o frutos por planta fue mayor en calabacita Gray Zucchini, pero la proporción número de flores/número de frutos fue de 5/1 en ambas variedades. La variedad Round Zucchini presentó menor número de frutos, sin embargo, el peso, tamaño e índice de cosecha fue mayor en comparación con Gray Zucchini. Para mejorar el rendimiento de calabacita Round o Gray Zucchini, se sugiere realizar el cultivo en tezontle, con granulometrías de 3 o 5 mm y fertirrigar con solución Steiner preparada a una conductividad eléctrica de 2.0 dS m⁻¹.

Palabra clave: Calabacita variedad Gray Zucchini, calabacita variedad Round Zucchini, índice de cosecha, número de frutos, tasa de asimilación neta.

2.0 INTRODUCCION

La calabacita (*Cucurbita pepo* L.) es una especie anual originaria de México. Es típica de zonas templadas (entre 25 y 30 °C), tiene buen desarrollo en suelos de textura franca con pH de 5.6 a 6.8 (Taylor y Brant, 2002; Caili *et al.*, 2006). Aunque es una especie cultivada en todo el mundo, sus variedades Gray y Round Zucchini son las más consumidas en México. Aportan calcio, hierro, magnesio, zinc, así como vitaminas A, B₆, B₁₂, y C. También se le atribuyen usos medicinales, al ser diurética y desparasitante (Taylor y Brant, 2002).

Con el cultivo de *C. pepo* en hidroponía se puede regular la concentración de los elementos esenciales en la solución para prevenir deficiencias nutrimentales, al utilizar sistemas de protección se reduce la incidencia de plagas o enfermedades durante el desarrollo de la planta. Además, se pueden elegir los sustratos que favorezcan la capacidad de retención de humedad y que aporten oxígeno a la raíz (SAGARPA, 2014).

Los sustratos pueden ser orgánicos o inorgánicos, entre estos últimos se encuentran perlita, agrolita, grava, tepojal y tezontle. El tezontle tiene un pH promedio de 6.5, capacidad de aireación y retención de humedad de 23 y 65 % respectivamente (Pineda *et al.*, 2008; Basegoda, 2015). Las propiedades físicas del tezontle pueden cambiar por los diámetros de su granulometría y con ello afectar el rendimiento de los cultivos. Trejo *et al.*, (2013) evaluaron el efecto de partículas de tezontle de 3 y 5 mm en el cultivo de tulipán, con las partículas de 3 mm la altura de las plantas disminuyó 59 % comparado con las de 5 mm cuya altura fue de 24 cm a los 59 días después de la siembra.

Para evaluar el crecimiento de los cultivos se registra la altura de las plantas, se cuenta el número de hojas, y se calcula el área foliar. Sin embargo, también se pueden utilizar índices de crecimiento como tasas absolutas o relativas de crecimiento, tasa de asimilación neta, área foliar específica y relación del área foliar entre otros (Azarpour *et al.*, 2014; Hunt, 2017). Orozco *et al.*, (2016)

evaluaron *en C. pepo*, el efecto de las combinaciones de arena:piedra pómez (7:3) y vermicomposta:arena:piedra pómez (2:6:2). En ambas combinaciones, la actividad metabólica mayor, valores altos de tasa de asimilación neta (TAN), se registró entre los 40 y 60 días después de la siembra, y se encontró que la TAN fue mayor en la combinación arena:piedra pómez.

La granulometría de los sustratos modifica su porosidad, capacidad de aireación y capacidad de retención de humedad, afectando la disponibilidad de nutrientes, la dinámica de crecimiento y el rendimiento de los cultivos. Dado que no todas las especies o cultivares responden de la misma forma, resulta importante investigar las respuestas de calabacita variedades Gray y Round Zucchini por este efecto.

3.0 REVISION DE LITERATURA

3.1 Cultivo de hortalizas en México

El sector hortícola en México aporta el 16 % del valor de la producción agrícola. En el año 2018, Sonora, Puebla, Sinaloa, Hidalgo y Michoacán fueron los estados de mayor aportación en cuanto a superficie sembrada, superficie cosechada y valor monetario (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción agrícola en México en el año 2018 (SAGARPA, 2018).

Entidad federativa	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Valor monetario (millones de pesos)
Sonora	610 678.13	598 614.67	40 345 046.08
Puebla	926 176.47	899 261.42	17 089 834.4
Sinaloa	1 149 319.63	1 142 799.55	48 447 719.44
Hidalgo	556 110.24	535 541.39	8 280 220.61
Michoacán	1 153 141.47	1 081 450.08	80 753 171.36
Otros Estados	17 195 148.66	16 534 035.54	392 316 976.5
Total	21 590 574.6	20 791 702.65	587 232 968.4

La calabacita, *Cucurbita spp.* originaria de México y América Central fue una de las primeras hortalizas cultivadas en Mesoamérica. Formaban parte de la alimentación humana desde hace 10,000 años (Basurto *et al.*, 2015).

En México, para el cultivo de calabaza se destinan 26 500 hectáreas (ha) con rendimiento promedio de 16.76 t ha⁻¹. Los principales estados productores son: Sonora, Puebla, Sinaloa, Hidalgo y Michoacán, que en conjunto aportan el 62 % de la producción nacional (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principales estados productores de calabacita en la República Mexicana. (SAGARPA-SIAP, 2014).

Entidad Federativa	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Rendimiento (t ha⁻¹)
Sonora	4 512.50	4 512.50	19.07
Puebla	4 420.50	4 330.50	12.81
Sinaloa	3 562.79	3 455.79	18.48
Hidalgo	2 215.80	2 208.80	12.00
Michoacán	1 792.50	1 775.50	20.26

3.2 Características botánicas de la calabacita

La calabacita es una planta herbácea anual, compuesta de zarcillos, con una flor monoica (flores masculinas y femeninas separadas), con tallo erecto (Figura 1).



Figura 1. Calabacita (*Cucurbita pepo* L.)

Conforme el tallo se va desarrollando se vuelve rastrero y su biomasa equivale al 6.5 % de la biomasa total de la planta (Sedano *et al.*, 2005; Monares *et al.*, 2009).

El follaje de las plantas de calabacita representa el 59.4 % de la biomasa total. Las hojas o láminas foliares están formadas por pecíolos largos y huecos, tiene una lámina foliar grande, con manchas blancas en su superficie y una nervadura palmeada, pubescente, lobulada y acorazonada (Figura 2).



Figura 2. Lámina foliar de calabacita.

Su sistema radical se conforma de una raíz principal, así como de raíces secundarias y una cantidad abundante de pelos absorbentes (Figura 3).



Figura 3. Morfología de la raíz de calabacita.

Las flores masculinas aparecen primero, tienen un pedúnculo largo y delgado, las partes que la conforman son: anteras, corola, filamentos y cáliz. La flor

femenina está compuesta por una corola, los estigmas, el estilo, el cáliz y un ovario ínfero que da origen a la calabacita (Figura 4).

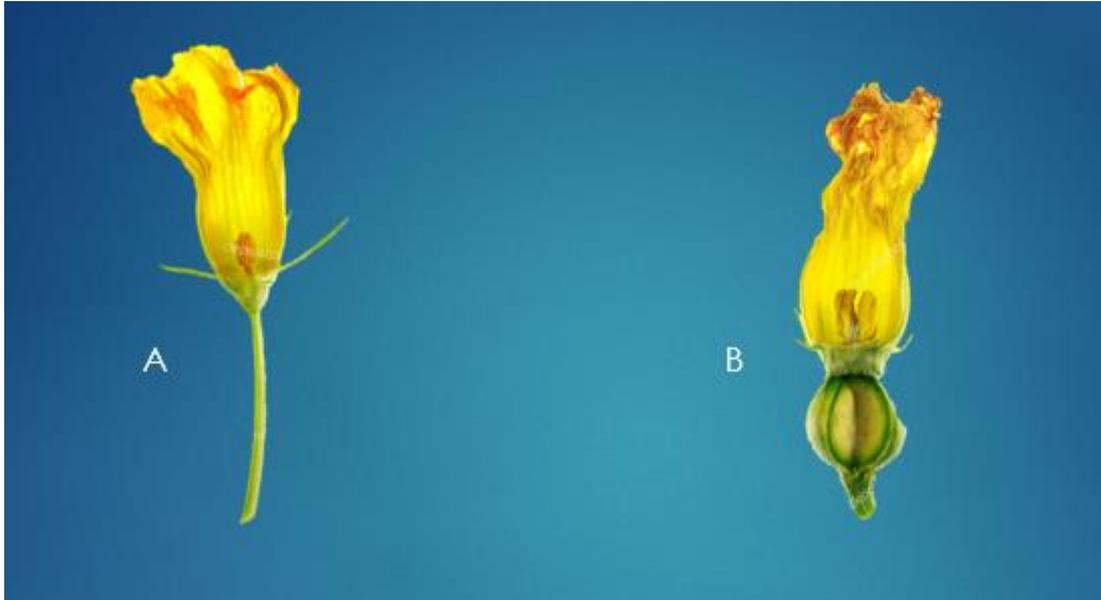


Figura 4. Flor masculina (A) y femenina (B) de calabacita. Disponible en: [https://sp.depositphotos.com/232541272/stock-photo-view-dissected-pumpkin-male \(or female\)-flower.html](https://sp.depositphotos.com/232541272/stock-photo-view-dissected-pumpkin-male (or female)-flower.html) [Consultado el 15 de junio de 2019].

Los frutos pueden consumirse frescos antes de que alcancen la madurez fisiológica, en esta fase tienen un epicarpio blando de color verde con manchas blancas tornándose amarillas cuando están maduras, la pulpa es blanca, presenta semillas generalmente de color blanco, crema o ligeramente café que se encuentran en el endocarpio. En la variedad Gray Zucchini el fruto es alargado, en Round Zucchini es redondo con una tonalidad verde oscura (Figura 5).

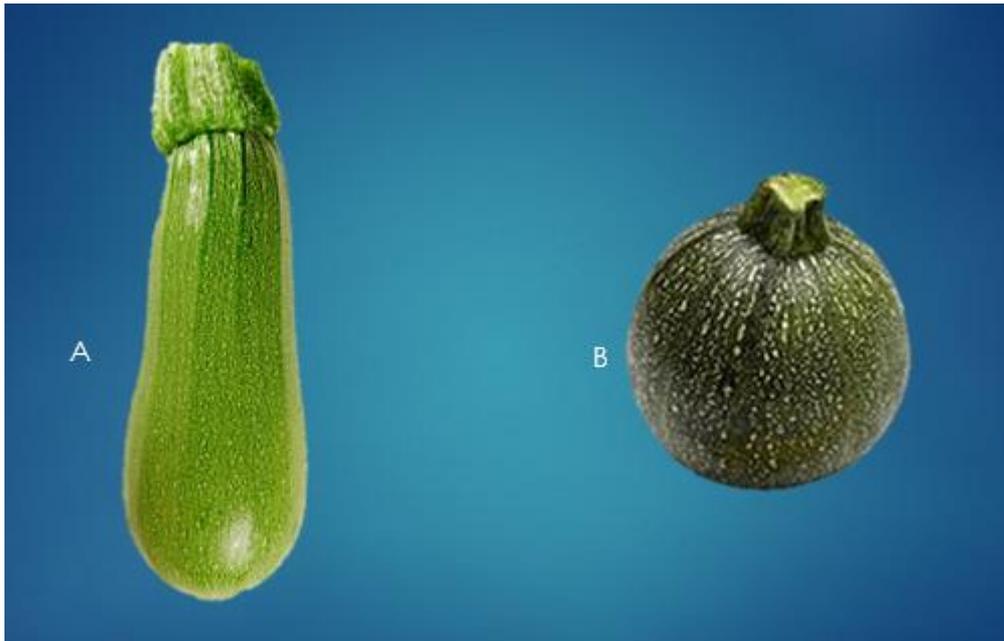


Figura 5. Frutos de calabacita, variedad Gray Zucchini (A) y variedad Round Zucchini (B). Disponible en: <https://www.seminis.mx/product/grey-zucchini/225> [Consultado el 15 de junio de 2019].

3.3 Ubicación taxonómica

Cucurbita pepo L. Se ubica taxonómicamente de la siguiente manera: (<https://www.tropicos.org/Name/9200564>).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Superorden: Rosanae Takht.

Orden: Cucurbitales Juss. ex Bercht. & J. Presl

Familia: Cucurbitaceae Juss.

Género: *Cucurbita* L.

Especie: *Cucurbita pepo* L.

Subespecie: pepo

3.4 Requerimientos ambientales para el cultivo de calabacita (*C. pepo*)

Para la germinación de las semillas de calabacita se requieren rangos de temperatura entre 22 y 25 °C, para el desarrollo de hojas, flores y frutos, el rango va de 18 a 35 °C, por debajo de 18 °C, los frutos se deforman y por arriba de 35 °C se induce clorosis en las hojas. Periodos de sequía prolongados reducen la polinización y fecundación del ovario. Las plantas de calabacita son insensibles al fotoperiodo, sin embargo, días largos con alta luminosidad inducen la formación de flores masculinas y en el caso opuesto, se induce la formación de flores femeninas. (Guenkov, 1969; Valadez 1989).

Para su cultivo en suelo se requieren humedades entre 35 y 80 % de la capacidad de campo, el periodo más resistente a la deficiencia de humedad corresponde a la fase vegetativa y el más sensible a la floración y maduración del fruto. Los suelos ricos en materia orgánica, con profundidad mayor que 30 cm, bien aireados y con valores de pH entre 5.5 y 6.8 favorecen el desarrollo de las plantas de calabacita (Maroto, 1989).

En sistemas de agricultura de temporal, en cultivos intensivos, monocultivos o policultivos, su ciclo fenológico dura de 6 a 7 meses. En México se cultiva en dos ciclos agrícolas, el de temporal y el de riego durante la época más seca del año (Lira, 1995).

3.5 Cultivo y rendimiento de calabacita

El cultivo de calabacita ha cobrado importancia por la creciente demanda de la población hacia esta hortaliza, debido a su alto contenido en fibra, calcio y fósforo. La calabacita se consume principalmente en estado fresco, su recolección se realiza sin alcanzar su tamaño definitivo. Del fruto maduro se obtienen las semillas que son procesadas y envasadas para su consumo directo o como condimentos utilizados en la cocina tradicional. La cosecha de ese cultivo es de 45 a 50 días por lo menos. Sin embargo, por cuestiones atribuidas a prácticas culturales su cosecha puede extenderse de 75 a 90 días (PROMOSTA.

2005). Según datos de la FAO (2007), la producción mundial es de 15.6 millones de toneladas métricas al año. India ha sido el país con mayor superficie cultivada a nivel mundial (29.9 %), seguido de China (18 %), Ucrania (4.3 %), Egipto (2.9 %), México (2.7 %), Argentina (1.9 %), Turquía (1.7 %) e Italia (1.2 %). Los países con mayor crecimiento en superficie cosechada, durante el año 2001, fueron: Ucrania (7.1 %) y México (3.2 %). En el año 2008, Egipto tuvo una tasa de crecimiento del 9 %.

En el año 2009, en México se cultivaron 30 629 ha, con un rendimiento promedio de 15.8 t ha⁻¹, inferior al de Holanda (70.0 t ha⁻¹), España (68.18 t ha⁻¹) y Francia (37.27 t ha⁻¹), y apenas superior al promedio mundial (13.62 t ha⁻¹), en este año México exportó 350 939 t de calabacita (FAO, 2010; SAGARPA, 2014).

3.5.1 Variables que indican crecimiento

El crecimiento se puede definir como el incremento en el número de células, tejidos, órganos, individuos o poblaciones, puede ocurrir en ambientes naturales, seminaturales o controlados. También puede definirse como un aumento irreversible del volumen de una célula, tejido, órgano o individuo, generalmente acompañado de un aumento en su biomasa (Hunt, 1978; Hunt *et al.*, 1984; Hunt, 2003; Marasssi, 2014).

El crecimiento de los órganos de las plantas implica procesos fisiológicos como fotosíntesis, respiración, división celular, elongación y diferenciación, entre otros. Estos procesos pueden modificarse por factores ambientales como temperatura e intensidad luminosa, además de la viabilidad de la semilla, disponibilidad de agua, concentración de nutrientes o granulometrías del sustrato (Mohr, 1995). Las variables que indican crecimiento pueden ser:

Altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar y biomasa seca entre otras. La altura y diámetro del tallo pueden indicar la adaptación del

cultivo en las condiciones del sitio donde se está desarrollando (Zitácuaro y Aparicio, 2004).

Con los valores de área y biomasa seca se pueden obtener índices que proporcionan información sobre la dinámica de crecimiento durante el desarrollo del cultivo.

3.5.2 Dinámica de crecimiento

Los índices de crecimiento son una aproximación cuantitativa para entender la dinámica de crecimiento en condiciones naturales o controladas. Estos índices, que incluyen la acumulación de biomasa seca a través del tiempo, han sido utilizados para explicar la forma en que algunos factores externos modifican el rendimiento de los cultivos. El análisis de crecimiento puede realizarse mediante: a) análisis clásico, la biomasa se obtiene en intervalos relativamente largos de tiempo con un gran número de plantas; b) análisis funcional, los registros se obtienen en intervalos de tiempo más frecuentes con un pequeño número de plantas (Hunt, 1978; Gardner *et al.*, 1985; Clavijo, 1989).

Entre los índices utilizados para explicar la dinámica de crecimiento destacan la tasa relativa de crecimiento (TRC), la tasa de asimilación neta (TAN), el área foliar específica (AFE), la razón de área foliar (RAF), la relación de peso foliar (RPF), la relación vástago/raíz (V/R) y el índice de cosecha (rendimiento biológico/rendimiento agronómico). Estos índices se calculan con valores del crecimiento de la planta y de la acumulación de biomasa seca que depende de la eficiencia fotosintética y del tiempo que el follaje persiste (Poorter y Villar, 1990; Hunt, 2017).

Durante el crecimiento del cultivo o de una planta, la biomasa seca se incrementa inicialmente con una tasa exponencial, más tarde la tasa de crecimiento es lineal y luego disminuye hasta alcanzar un nivel máximo, lo que se asemeja a una curva sigmoide. La pendiente (primera derivada) de esta curva es la tasa de crecimiento absoluto (TCA) y sus unidades son $g\ d^{-1}$. Para cualquier instante de

tiempo, la TCA se define como el incremento de peso seco del material vegetal por unidad de tiempo. Sin embargo, para el análisis de crecimiento vegetal el índice más utilizado es la tasa de crecimiento relativo (TCR) ya que, durante los primeros estadios del crecimiento, la acumulación de biomasa es exponencial y puede reflejar diferencias significativas por el efecto de tratamientos aplicados. El cálculo de la TCR de una planta y órgano para un instante (t) se define como el incremento de material vegetal por unidad de material vegetal existente y por unidad de tiempo ($\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$) (Di Benedetto, 2016). La TCR se obtiene con la ecuación:

$$TRC = \frac{\ln BS2 - \ln BS1}{t2 - t1}$$

Dónde: \ln = logaritmo natural; $BS1$ = biomasa seca total en el tiempo 1; $BS2$ = biomasa seca total en el tiempo 2; $t1$ = tiempo 1 (d); $t2$ = tiempo 2 (d).

Con la TCA se puede estimar la fuerza de los órganos demandantes o sumideros, mientras que los valores de la TCR indican la actividad de éstos órganos. La fuente está representada por las hojas maduras y su actividad por su tasa fotosintética unitaria, que en forma indirecta se manifiesta como la producción de biomasa seca (Ho *et al.*, 1989).

La tasa de asimilación neta (TAN) indica la velocidad de procesos metabólicos y su eficiencia fotosintética, es decir, mide la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo. Para obtener la TAN ($\text{g cm}^{-2} \text{d}^{-1}$) se utiliza la ecuación:

$$TAN = \frac{B2 - B1}{t2 - t1} * \frac{\ln AF2 - \ln AF1}{AF2 - AF1}$$

Dónde: $B1$ = biomasa seca total en el tiempo 1; $B2$ = biomasa seca total en el tiempo 2; $t1$ = tiempo 1 (d); $t2$ = tiempo 2 (d); $AF1$ = Área foliar en el tiempo 1; $AF2$ = Área foliar en el tiempo 2; \ln = logaritmo natural.

El área foliar específica (AFE) se obtiene con el registro del área de las hojas fotosintéticamente activas y la biomasa seca de esas hojas ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$).

$$AFE = \frac{AF}{BSH}$$

Donde AF = Área foliar en el tiempo t ; BSH =Biomasa seca de hojas en el tiempo t .

La razón de área foliar (RAF) se define como la cantidad de área foliar dividida entre la biomasa seca total de la planta, se expresa en $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$.

$$RAF = \frac{\frac{AF2}{B2} - \frac{AF1}{B1}}{2}$$

Dónde: $AF2$ = Área foliar en el tiempo 2, $B2$ = biomasa seca de hojas en el tiempo 2, $AF1$ = Área foliar tiempo 1, $B1$ = biomasa seca de hojas en el tiempo 1.

La Relación de Peso Foliar (RPF) se obtiene al dividir la biomasa seca del área foliar entre la biomasa seca total.

$$RPF = \frac{BSAF}{BST}$$

Donde RPF = Relación de peso foliar; $BSAF$ = Biomasa seca del área foliar; BST = Biomasa seca total

Con esta ecuación se estima el uso de los fotoasimilados en la producción de hojas y la frondosidad o arquitectura de la planta (Orozco et al., 2008).

La relación vástago/raíz (V/R) se refiere a la cantidad de biomasa seca en la parte aérea de la planta con respecto a la que se produce en la parte subterránea, valores cercanos a 1 inician un equilibrio entre ambas partes de la planta (Castro, 2015).

Índice de cosecha se obtiene al dividir el rendimiento biológico entre el rendimiento agronómico. El rendimiento biológico se refiere a la producción de biomasa seca de todas las estructuras de la planta, raíces, tallos, hojas, flores y frutos. El rendimiento agronómico hace referencia a las estructuras comestibles para el hombre, que para calabacita son las flores y frutos.

Los índices descritos permiten analizar el crecimiento de la planta a través de la acumulación de materia seca, dependiente en general de la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje persiste (Tekalign y Hammes, 2005).

3.3.3 Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa por dosel

El dosel se refiere arreglo espacial de los órganos aéreos de la planta, es decir, las ramas y las hojas. La radiación fotosintéticamente activa (RFA) que va de 400 a 700 nm es interceptada por las hojas y la transforman energía química y biomoléculas. De forma breve, en la fase luminosa de la fotosíntesis se producen ATP y NADPH, estos compuestos químicos se requieren para participar en la fase oscura o ciclo de Calvin y se generen triosas fosfato. Las triosas fosfato se combinan para formar azúcares, los cuales participarán en distintas rutas metabólicas de la planta para formar biomasa (Russell *et al.*, 1990).

En un bosque o en un campo de cultivo, la distribución de la radiación solar en la superficie del dosel genera microclimas y disminución de la RFA en los estratos inferiores. La altura de las plantas determinará la magnitud del gradiente que se forme, lo que puede influir positiva o negativamente en la generación de biomasa (Walker, 1989).

A cielo abierto, la RFA llega de forma directa al dosel de la planta, pero en invernadero, el plástico disminuye la incidencia de la luz sobre las hojas y evita la disipación de la energía hacia el exterior. Esta combinación genera la radiación difusa que promueve la eficiencia fotosintética en los estratos inferiores de las plantas y evita que el rendimiento disminuya por la incidencia de la luz (Molina *et al.*, 2009).

3.6 Sustratos

3.6.1 Los sustratos y los cultivos

Los sustratos son el medio material donde se desarrollan las raíces, su función principal es el anclaje de las plantas. Además, proporcionan el sitio de

almacenamiento de las soluciones nutritivas y de los elementos esenciales requeridos para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Muñoz *et al.*, 2017).

Por su origen, los sustratos se clasifican en orgánicos e inorgánicos. Los primeros provienen de materiales de origen vegetal, son inestables y se pueden degradar, destacan las turbas rubias o negras, fibra de coco y cascarilla de arroz entre otros (Bures, 2002). Entre los inorgánicos o de origen mineral destacan las gravas, arenas y tezontle de distintas granulometrías. Los sustratos que favorecen el desarrollo de los cultivos son aquellos que no tienen actividad química o la tienen muy reducida, por ejemplo, el tezontle (Florian y Roca, 2010).

3.6.2. La granulometría de los sustratos en los cultivos hortícolas

Con respecto a la granulometría, la calidad y rendimiento de las hortalizas dependerá principalmente del sustrato y su diámetro de partícula. Para ello se deberá considerar que el sustrato ideal, debe facilitar la penetración de las raíces y permitir una retención de agua y aireación suficiente en su interior. Además, el sustrato deberá tener influencia directa en el suministro de los nutrimentos necesarios para que las hortalizas puedan desarrollarse de manera óptima (Bunt, 1988).

La granulometría de los sustratos debe ser tal, que permita la circulación de la solución nutritiva y del aire. Paredes, (1993) indica que, con base al diámetro de las partículas se debe generar del 15 al 35 % de aireación y de 20 a 60 % de capacidad de retención de humedad. Estos intervalos favorecen el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las plantas. Calderón y Cevallos, (2002) mencionan que el tamaño de las partículas del sustrato (granulometría) determina su porosidad y capacidad de retención de humedad.

Dado el efecto compactador del riego sobre el sustrato, este puede reducir su volumen hasta 10 %, dependiendo de su granulometría. La frecuencia de riego está en función de la granulometría del sustrato, partículas con diámetros

mayores requieren riegos más frecuentes que las de diámetros finos. De acuerdo con Cabrera, (1995) la porosidad del sustrato, definida por su granulometría, es la característica física más importantes para el crecimiento y desarrollo de los cultivos cuyo valor óptimo debe ser mayor que 70 %. Un ejemplo de ello es el señalado por Vargas *et al.*, (2008) quienes reportan que las densidades aparentes y reales en tezontle aumentan conforme disminuye el tamaño de la partícula, mientras que el espacio poroso total se incrementa con el aumento en el tamaño de partícula. La aireación depende de la estabilidad y diámetro de las partículas del sustrato (Paredes, 1993). Estas propiedades físicas pueden influir en la distribución de las raíces y en el crecimiento y rendimiento de las hortalizas por lo que resulta importante realizar estudios donde se evalué el efecto de distintas granulometrías en el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

3.7 Las soluciones nutritivas en el cultivo de hortalizas

La producción de cultivos en hidroponía ha sido una opción adicional para abastecer de alimentos a la población. Entre otros factores, la solución nutritiva (SN) es parte fundamental en la hidroponía, pues de ella depende la magnitud y calidad de la producción. Los aspectos más importantes de la SN son: la relación mutua entre aniones y cationes, la concentración de nutrimentos expresada con la conductividad eléctrica (CE), el pH, la relación $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ y la temperatura. La CE influye en la nutrición de las plantas, a CE mayores que 3 dS m^{-1} se induce estrés osmótico y por debajo de 2 dS m^{-1} deficiencias nutrimentales. El pH determina la solubilidad de los elementos esenciales, para que los macro y micronutrientes estén disponible en la solución nutritiva, el pH debe mantenerse entre 5.5 y 6.5.

Como ejemplo de soluciones nutritivas se pueden mencionar Knop (1865), Robbins (1946), Hoagland y Arnon (1950) y Steiner (1961). Todas se basan en el principio de relaciones mutuas entre aniones (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-}) y cationes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Para preparar solución Steiner con una conductividad eléctrica de 2.0 dS m^{-1} , se requieren 12, 1, 7 meq L^{-1} de NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} y 7, 9, 4 meq L^{-1} de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} respectivamente. Para un volumen de 1000 mL, la cantidad de fertilizantes (g L^{-1}) que cubren estos requerimientos son: nitrato de calcio, 0.885; nitrato de potasio, 0.303; sulfato de potasio,

0.348; sulfato de magnesio, 0.369. Ácido fosfórico, 32 µL; ácido nítrico, 94.5 µL (Radillo, 2018).

4.0 OBJETIVOS E HIPOTESIS

4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto tres granulometrías de tezontle (2, 3 y 5 mm) en la dinámica de crecimiento y rendimiento de *Cucurbita pepo* L. variedades Gray Zucchini y Round Zucchini cultivadas en invernadero con cubierta plástica.

4.2 Objetivos particulares

Determinar la altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas y área foliar en un ciclo de producción de *Cucurbita pepo* L. variedades Gray Zucchini y Round Zucchini cultivadas en tezontle con granulometrías de 2, 3 y 5 mm.

Registrar la dinámica de crecimiento en *Cucurbita pepo* L. variedades Gray Zucchini y Round Zucchini cultivadas en tezontle con granulometrías de 2, 3 y 5 mm.

Analizar el rendimiento (número de botones florales, peso, volumen y número de frutos e índice de cosecha) de *Cucurbita pepo* L. variedades Gray Zucchini y Round Zucchini cultivadas en tezontle con granulometrías de 2, 3 y 5 mm.

4.3 Hipótesis General

En los sustratos, la retención de humedad, la porosidad y la capacidad de aireación tienen relación estrecha con el tamaño de sus partículas, por lo que el cultivo de dos variedades de calabacita, en tezontle con tres granulometrías, presentará valores diferentes durante su desarrollo o fase de floración y fructificación.

5.0 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del experimento y obtención de los materiales

El experimento se realizó de abril a julio de 2018, en el invernadero en la unidad de morfología y función de la FES-Iztacala, UNAM, ubicada en avenida de los Barrios número 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México.

Las semillas de *Cucurbita pepo* L. variedades Gray Zucchini y Round Zucchini se obtuvieron en una casa distribuidora de productos agroquímicos ubicada en Tlalnepantla, Estado de México y el tezontle se obtuvo de una casa distribuidora de materiales para la construcción.

5.2 Preparación del sustrato y separación por tamaño de partículas.

El tezontle se lavó por aspersion con agua de la llave, se dejó escurrir por 30 min y se enjuagó con agua acidulada (pH, 6.0), nuevamente se dejó escurrir y se expuso al ambiente hasta que las partículas se secaron. Para separar el sustrato por tamaño de partículas 2, 3 y 5 mm, se utilizaron tamices marca Fisher Scientific Company, etiquetados con los números 10, 6 y 4 respectivamente (Figura 6).

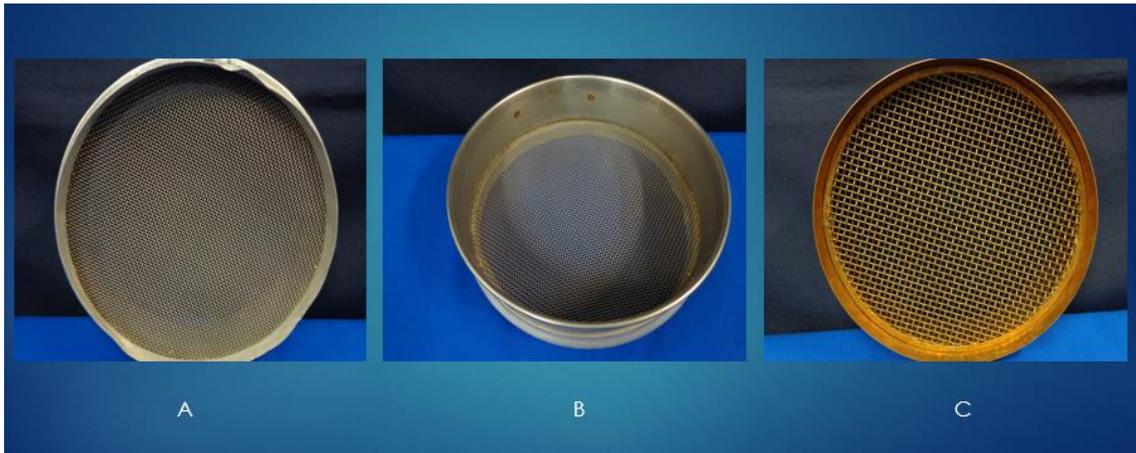


Figura 6. Tamices utilizados para separar las partículas de tezontle. A, tamiz del número 10, 2 mm; B, tamiz del número 6, 3 mm; C, tamiz del número 4, 5 mm.

5.3 Germinación, trasplante y diseño de tratamientos

La siembra, de 90 semillas de calabacita variedad Gray Zucchini y 90 de Round Zucchini, se realizó en una charola de unicel con 200 cavidades, se utilizó peat moss como sustrato. La charola con el sustrato humedecido y las semillas se envolvieron con polietileno negro para reducir fluctuaciones de temperatura y humedad del sustrato. En cuanto emergieron las primeras plántulas se retiró el polietileno para evitar su etiolación, la humedad se mantuvo asperjando agua al sustrato. Dos semanas después de la siembra, tres plántulas de calabacita variedad Gray Zucchini y Round Zucchini se trasplantaron en bolsas de plástico negro, de 25 x 25 cm + 2 L de tezontle con granulometrías de 2, 3 o 5 mm. Los tratamientos, con 10 repeticiones, fueron los diámetros de las partículas de tezontle (Cuadro 3).

Cuadro 3. Diseño de tratamientos para evaluar la dinámica de crecimiento y rendimiento de *Cucurbita pepo* L. variedades Gray o Round Zucchini.

<i>Cucurbita pepo</i>	Granulometrías de tezontle (mm)	Repeticiones
Gray Zucchini	2	10 ^z
	3	10
	5	10
Round Zucchini	2	10
	3	10
	5	10

^zEl número de repeticiones indica el número de unidades experimentales, las que estuvieron conformadas por una bolsa de plástico negro de 25 x 25 cm con 2 L de tezontle y tres plantas de una u otra variedad de calabacita.

Las unidades experimentales se distribuyeron al azar dentro de un invernadero con cubierta plástica (Figura 7).



Figura 7. Distribución de las unidades experimentales en el interior del invernadero.

La humedad del sustrato se mantuvo, entre 80 y 100 %, pesando cada maceta y agregando a cada una de ellas 500 mL de solución nutritiva Steiner (1961) con conductividad eléctrica de 2 dS m⁻¹. Para disminuir el riesgo de precipitación de las sales fertilizantes, cada semana se ajustó la humedad con agua acidulada (pH, 6.0).

5.4 Variables de respuesta

En el interior del invernadero se registró la temperatura, la humedad relativa y la intensidad luminosa con registrador de datos HOBO[®]. La intensidad luminosa en lux (lx) fue convertida a kilolux (klx) y estos valores se multiplicaron por 4.02 para obtener unidades de radiación fotosintéticamente, es decir, micromoles de fotones por metro cuadrado de área foliar por segundo ($\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Desde el trasplante y hasta la floración, cada semana, se evaluó:

- a) Altura de la planta, desde la superficie del sustrato hasta el ápice de la planta, con cinta métrica y precisión de 0.1 cm.
- b) Diámetro del tallo en la parte media de la planta con vernier digital marca Truper[®] con precisión de 0.01 mm.
- c) Número de hojas por conteo directo.
- d) Área foliar con cámara digital de un teléfono celular, iPhone 5s[®] (definición de 8 megapíxeles, 1/3.2" + 1.5 microns por pixel y una distancia focal de 33 mm) y el Software ImageJ[®] para Windows (Rincón *et al.*, 2012).
- e) **Dinámica de crecimiento.** Se obtuvo a partir de la biomasa fresca y seca de raíces, tallos y hojas. La biomasa se pesó con balanza digital marca Velab[®], modelo ES-1000H, con precisión de 0.01g. Para el secado del tejido, las muestras se colocaron en un horno, marca Reavel[®], modelo REA-II2240, a 80 °C por 24 h. Con los valores de biomasa seca y el área foliar se calcularon los índices siguientes:

i) Tasa de crecimiento relativo (TCR).

$$TCR = \frac{\ln BS2 - \ln BS1}{t2 - t1}$$

Dónde: \ln = logaritmo natural; $BS1$ = biomasa seca total en el tiempo 1; $BS2$ = biomasa seca total en el tiempo 2; $t1$ = tiempo 1 (d); $t2$ = tiempo 2 (d).

ii) Tasa de asimilación neta (TAN).

$$TAN = \frac{B2 - B1}{t2 - t1} * \frac{\ln AF2 - \ln AF1}{AF2 - AF1}$$

Dónde: $B1$ = biomasa seca total en el tiempo 1; $B2$ = biomasa seca total en el tiempo 2; $t1$ = tiempo 1 (d); $t2$ = tiempo 2 (d); $AF1$ = Area foliar en el tiempo 1; $AF2$ = Área foliar en el tiempo 2; \ln = logaritmo natural.

iii) Área foliar específica (AFE).

$$AFE = \frac{AF}{BSH}$$

Donde AF = Área foliar en el tiempo t ; BSH =Biomasa seca de hojas en el tiempo t .

iv) Relación de área foliar (RAF).

$$RAF = \frac{AF2/B2 - AF1/B1}{2}$$

Dónde: $AF2$ = Area foliar en el tiempo 2, $B2$ = biomasa seca de hojas en el tiempo 2, $AF1$ = Área foliar tiempo 1, $B1$ = biomasa seca de hojas en el tiempo 2.

v) Relación de Peso Foliar (RPF).

$$RPF = \frac{BSAF}{BST}$$

Donde RPF = Relación de peso foliar; $BSAF$ = Biomasa seca del área foliar; BST = Biomasa seca total

vi) Relación vástago raíz (V/R).

$$V/R = \frac{BSV}{BSR}$$

Dónde: *BSV*= Biomasa seca del vástago en el tiempo t; *BSR*= Biomasa seca de las raíces en el tiempo t.

Durante la cosecha se evaluó:

- a) Número de botones florales
- b) Número de frutos
- c) Peso de frutos
- d) Volumen de frutos por desplazamiento de agua
- e) Longitud de raíces, peso seco y peso fresco de raíces
- f) Índice de cosecha con la ecuación:

$$IC = \frac{RB}{RE}$$

Donde: *IC* = Índice de cosecha, *RB* = Rendimiento biológico y *RE* = Rendimiento agronómico.

- g) **Distribución de raíces en el sustrato** mediante la captura de imágenes fotográficas.

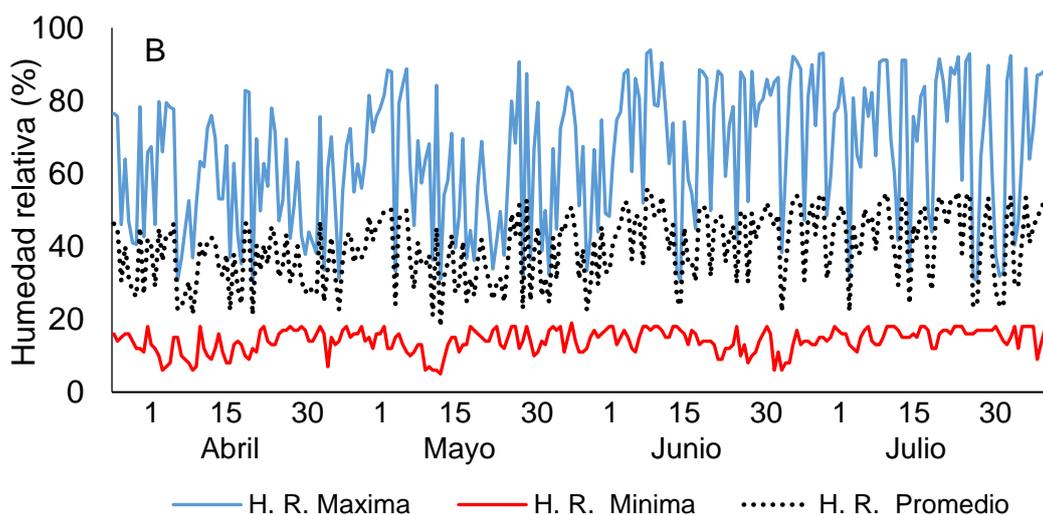
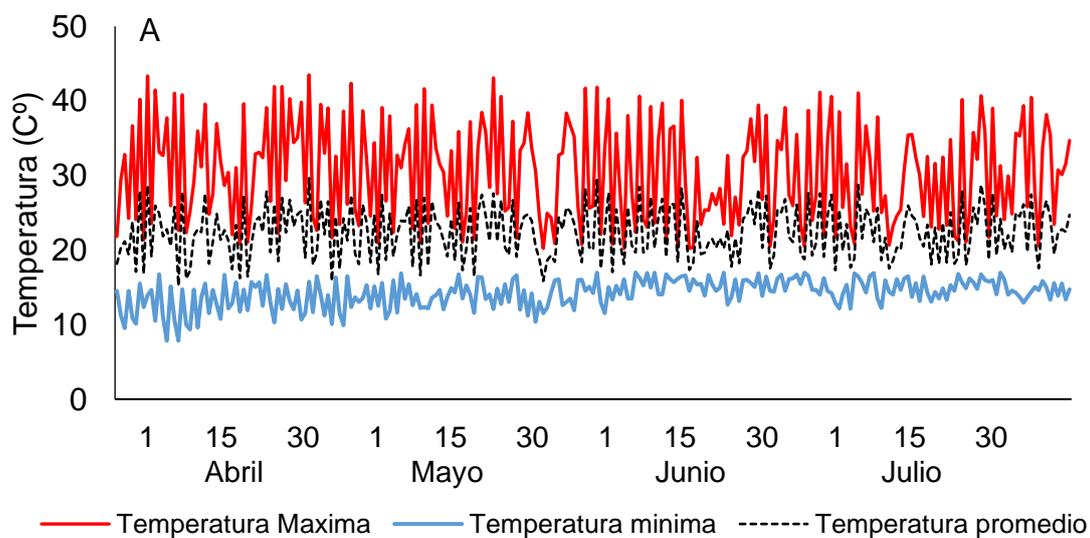
5.5 Análisis estadístico

Los resultados de las variables altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas y área foliar se procesaron con estadística descriptiva, los promedios se graficaron con respecto al tiempo y se describió el comportamiento de las variables en cada granulometría de sustrato. Para la dinámica de crecimiento y biomasa seca se aplicó análisis de varianza de 2 factores (F1, dos variedades calabacita; F2, tres granulometrías de tezontle) y pruebas de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$). El software estadístico SAS® 9.0 para Windows se utilizó para realizar el análisis de varianza.

6.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Temperatura, humedad relativa, intensidad luminosa

Durante el periodo de abril a julio del 2018, la temperatura mínima fue de 7.83 y la máxima de 43.3 °C. La humedad relativa fluctuó de 11.5 a 97.9 % y la intensidad luminosa, de 0.04 a 353 $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 8).



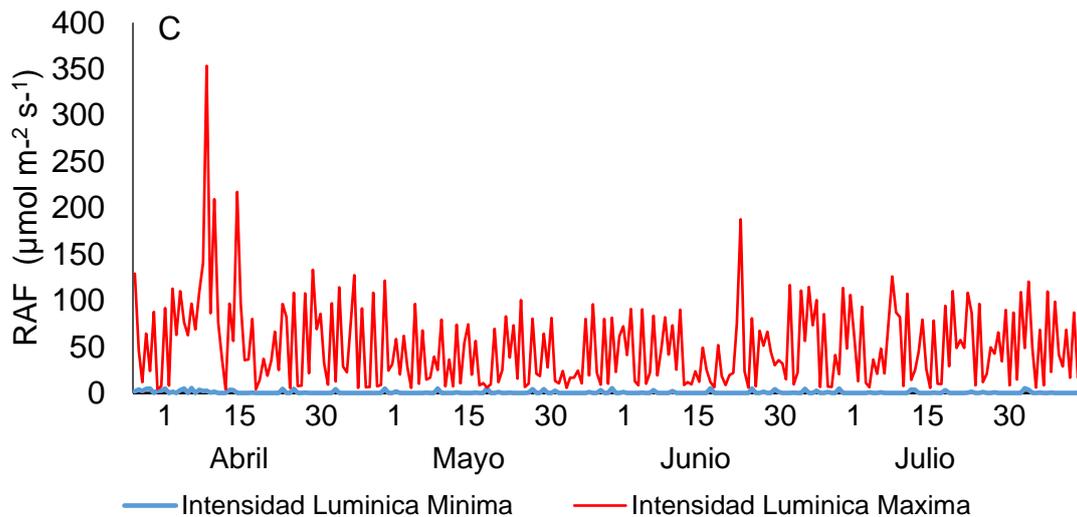


Figura 8. Temperatura (A), humedad relativa (B) e intensidad luminosa (C) en el interior del invernadero durante el periodo de abril a julio de 2018.

Durante los meses de evaluación, la temperatura mostró variaciones de 7.8 a 43.3 °C. Sedano *et al.*, (2011) mencionan que el rango óptimo para la mayoría de las especies con fotosíntesis C3 se ubica entre 15 y 30 °C, como en el caso de la calabacita.

Durante el periodo de evaluación, la humedad relativa alcanzo un máximo de 97.7 %. Harel *et al.*, (2014) mencionan que la humedad relativa en el rango de 50 a 70 % se considera generalmente óptima para la floración, polinización y llenado de frutos. Además de ello, atribuyen que el aumento de la humedad relativa (de 60 a 70 %) favorece la fertilización en comparación con una humedad relativa de 30 a 40 %.

La intensidad lumínica durante este trabajo presento un máximo de 353 μmoles m⁻² s⁻¹, esta cantidad de energía favorece el desarrollo de los cultivos con fotosíntesis C3 (Azcon-Bieto *et al.*, 2013).

6.2 Variables evaluadas desde el trasplante hasta la floración

6.2.1 Altura de las plantas

En la semana 7 después del trasplante, la altura de calabacita Gray Zucchini y Round Zucchini fue de 14 y 13 cm respectivamente, sin diferencias por efecto de las granulometrías del tezontle (Figura 9).

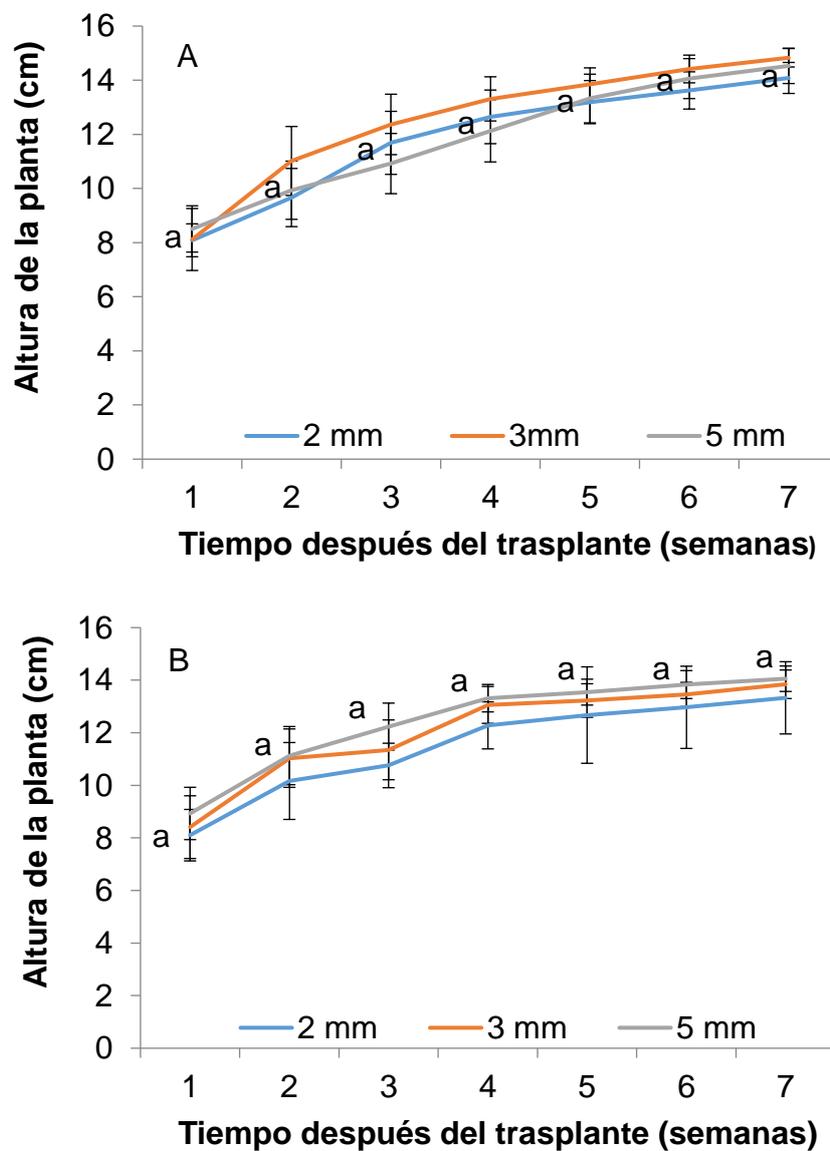
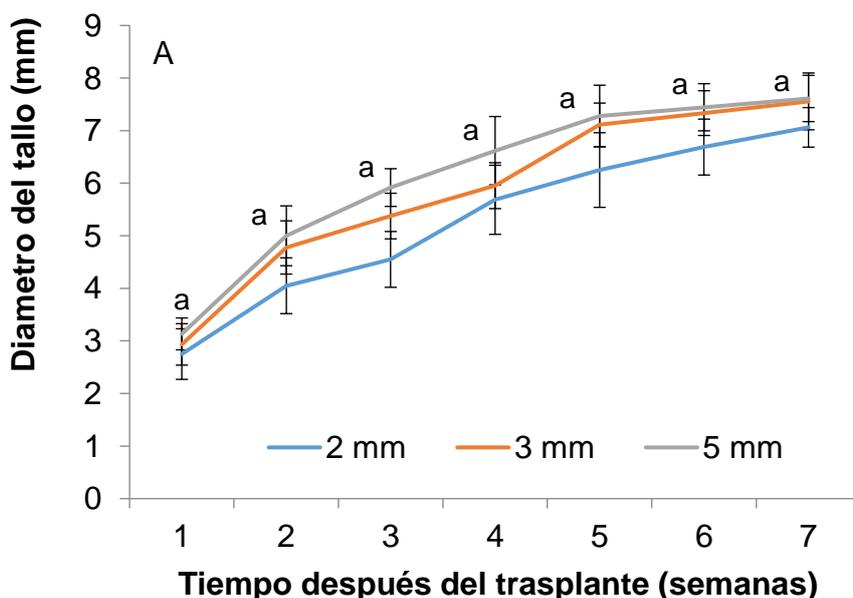


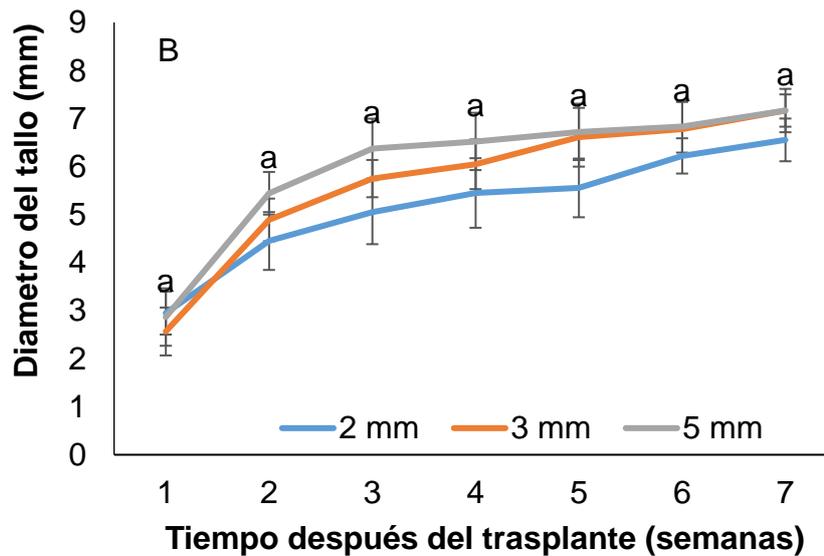
Figura 9. Altura de la planta en calabacita variedades Gray Zucchini (A) y Round Zucchini (B) cultivadas en tezontle con tres granulometrías. La misma letra en cada tiempo de evaluación indica que no hubo diferencias entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$), $n = 30$.

Trejo *et al.*, (2013) reportaron que partículas de tezontle con diámetros entre 3 y 5 mm presentaron mayor altura de la planta de tulipán comparado con diámetros ≤ 2 mm, debido a que las partículas de diámetro mayor tienen más capacidad de aireación. Urbina *et al.*, (2006) y Paredes, (1993) mencionan que plantas de jitomate y calabacita cultivadas en zeolita y jal con partículas de 0.1 a 2.5 mm y de 0.7 a 2.0 mm, en zeolita tuvieron mayor altura las que se cultivaron en partículas de 0.7 a 2 mm, mientras que, en jal, la altura mayor se registró con las partículas de 0.1 a 2.5 mm. Para efectos de este estudio, la granulometría del tezontle no tuvo efecto en la altura de las plantas de calabacita variedades Gray o Round Zucchini.

6.2.2. Diámetro del tallo

En la semana 7 después del trasplante, el diámetro del tallo de calabacita Gray Zucchini y Round Zucchini osciló entre 6 y 8 mm, sin diferencias por efecto de las granulometrías del tezontle (Figura 10).





Figuras 10. Diámetro del tallo de las plantas de calabacita variedades Gray Zucchini (A) y Round Zucchini (B) cultivadas en tezontle con tres granulometrías. La misma letra en cada tiempo de evaluación indica que no hubo diferencias entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$), $n = 30$.

Tucuch-Haas *et al.*, (2016) encontraron que, en chile habanero el diámetro del tallo no fue modificado por las granulometrías del tezontle (3 a 5, 5 a 10, 10 a 20 mm) que utilizaron para su cultivo. Urbina *et al.*, (2006) mencionan que plántulas de jitomate cultivadas en zeolita fina (0.77 a 1 mm) o media (1.1 a 2 mm) tuvieron similar diámetro del tallo (2.68 mm) entre sí, pero mayor con respecto a las cultivadas en partículas gruesas (2.1 a 3.66 mm). En este experimento, los resultados coincidieron con los reportados por Tucuch-Haas *et al.*, (2016), es decir, el diámetro del tallo no fue modificado por el tamaño de las partículas de tezontle.

6.2.3. Número de Hojas

En la semana 10 después del trasplante, las plantas de calabacita variedad Round Zucchini tuvieron cinco hojas menos que las de la variedad Gray Zucchini

que en promedio tuvieron 14 hojas. En ninguna de las dos variedades el número de hojas fue afectado por el diámetro de las partículas (Figura 11).

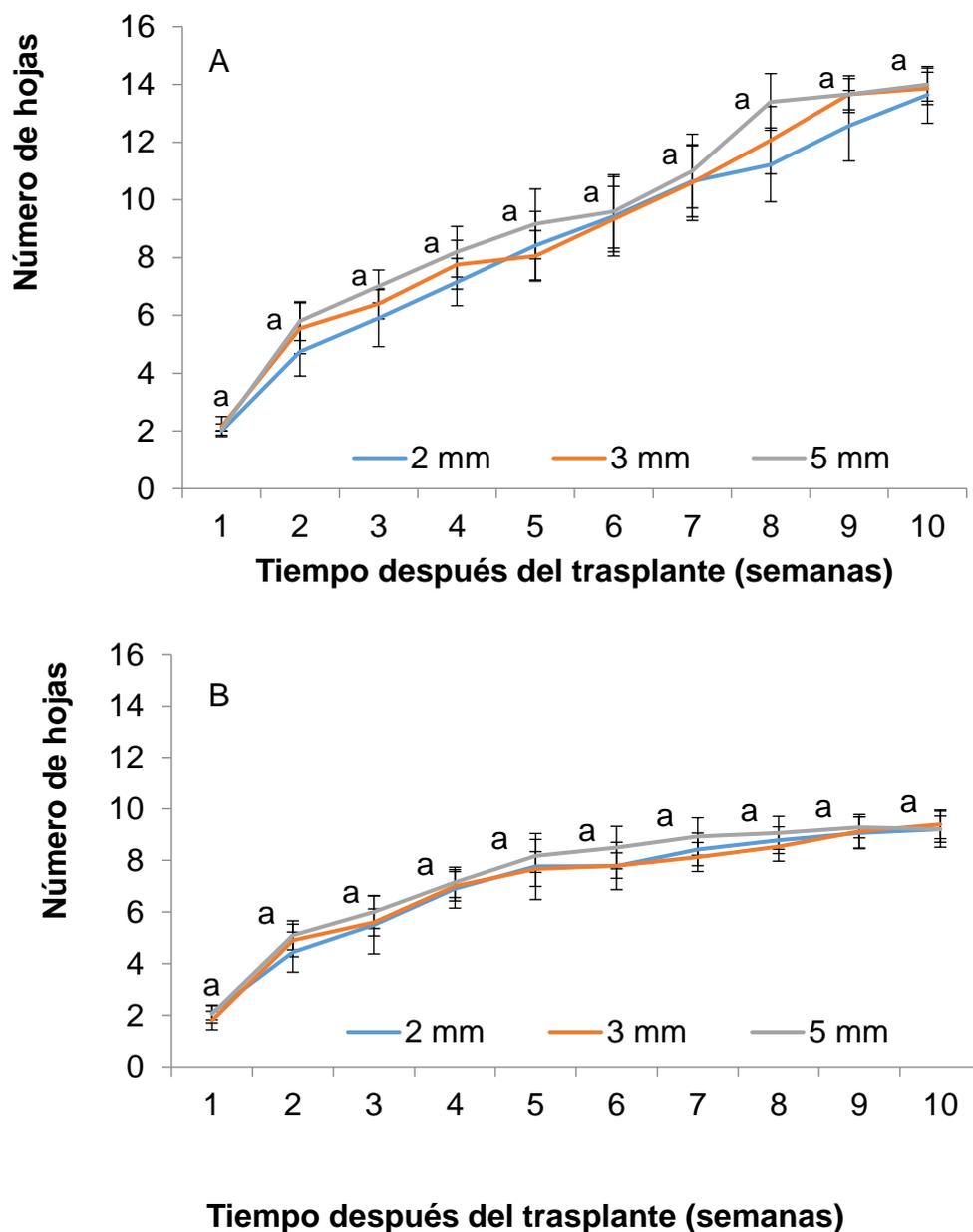


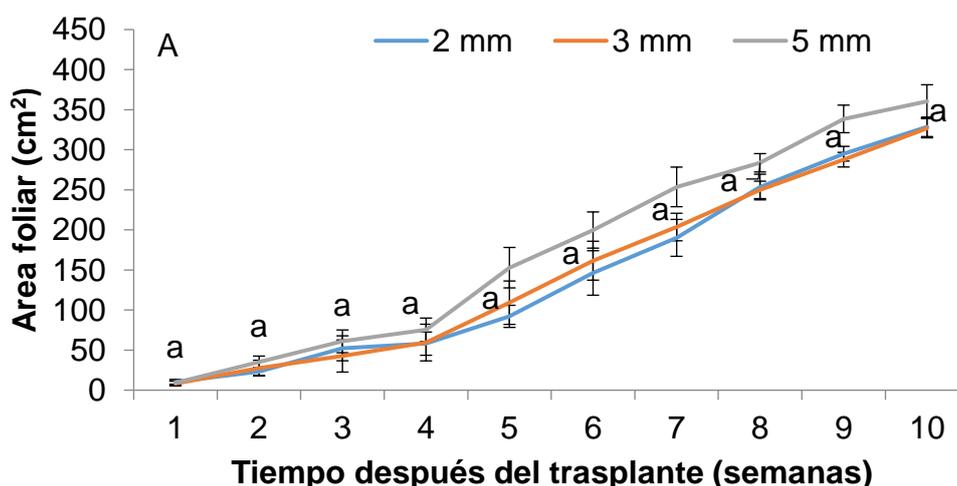
Figura 11. Número de hojas de las plantas de calabacita variedades Gray Zucchini (A) y Round Zucchini (B) cultivadas en tezontle con tres granulometrías. La misma letra en cada tiempo de evaluación indica que no hubo diferencias entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$), $n = 30$.

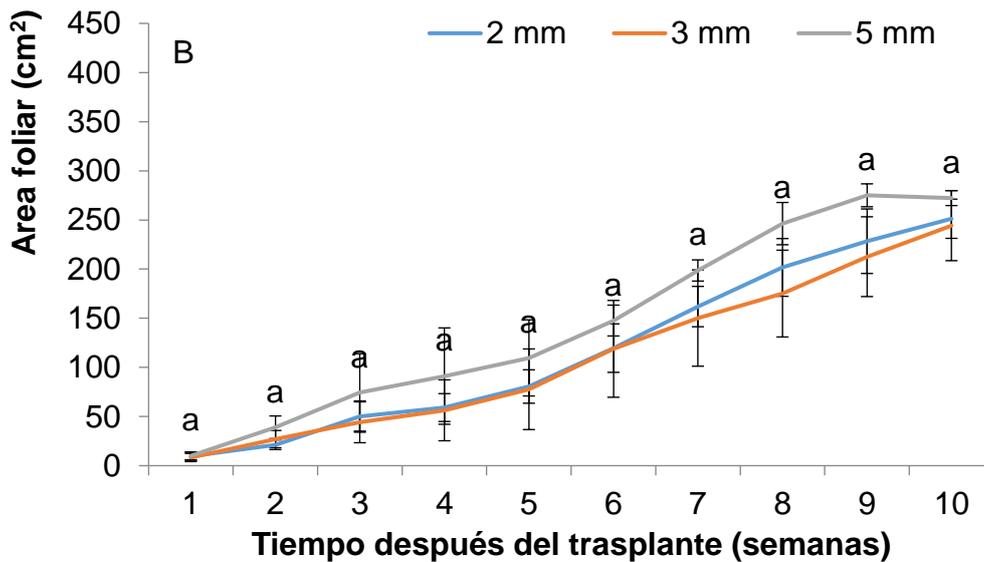
El número de hojas podría incrementar la superficie involucrada en la captación de la radiación fotosintéticamente activa y mejorar la eficiencia fotosintética de la

planta (Pérez, 2004). Las plantas de calabacita variedad Gray Zucchini tuvieron mayor número de hojas que las de Round Zucchini, lo que se atribuye al efecto de las variedades y no al diámetro de las partículas de tezontle. La fertilización nitrogenada es un factor que podría tener relación directa con el crecimiento y número de hojas en especies como *Triticum aestivum* L. (Simpson *et al.*, 1983), *Zea mays* L. (Swank *et al.*, 1982), *Amaranthus powellii* (Hunt *et al.*, 1985), y *Glycine max* L (Tolley y Raper, 1986). Sin embargo, en la revisión realizada no se encontraron fuentes bibliográficas que mencionaran cambios en el número de hojas, por efecto de cultivar especies vegetales en sustratos con granulometrías distintas.

6.2.4. Área Foliar

En la semana 10 después del trasplante, el área foliar de calabacita variedad Gray Zucchini fue de 350 cm² y de Round Zucchini de 250 cm². De manera similar que el número de hojas, la variedad Gray Zucchini fue la de mayor porte. Sin que se observaran diferencias por efecto del diámetro de las partículas de tezontle (Figura 12).





Figuras 12. Área foliar de las plantas de calabacita variedades Gray Zucchini (A) y Round Zucchini (B) cultivadas en tezontle con tres granulometrías. La misma letra en cada tiempo de evaluación indica que no hubo diferencias entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$), $n = 30$.

El área foliar está estrechamente relacionada con la captación de la energía luminosa y transferencia de electrones en el fotosistema II. Gifford y Evans, (1981) señalan que, a mayor intercepción de luz se incrementa la formación de compuestos (ATP y NADPH) requeridos para fijar el CO_2 . Por ello, se esperaría que aquellas especies o variedades que tuvieran área foliar mayor también tuvieran mayor biomasa y rendimiento biológico o agronómico. En este caso, las plantas de calabacita variedad Gray Zucchini tuvieron mayor área foliar que las de Round Zucchini, al igual que con el número de hojas, las diferencias fueron atribuidas al efecto de variedades y no al diámetro de las partículas del sustrato.

6.3 Dinámica de crecimiento

6.3.1 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

En las semanas 2, 3 y 5, la tasa de crecimiento relativo fue mayor en calabacita variedad Gray Zucchini que en Round Zucchini. Por efecto de las granulometrías del sustrato, se observó que a partir de la semana 2 después del trasplante (ddt), el cultivo en tezontle con partículas de 5 mm incrementó la tasa de crecimiento relativo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tasa de crecimiento relativo ($\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$) en plantas de calabacita, variedades Gray o Round Zucchini, cultivadas en tezontle con tres granulometrías.

Factores	Tiempo después del trasplante (semanas)				
	1	2	3	4	5
Variedades					
Gray Zucchini	0.21 a	0.47 a	0.17 a	0.17 a	0.19 a
Round Zucchini	0.22 a	0.17 b	0.11 b	0.12 a	0.13 b
DHS	0.01	0.03	0.009	0.02	0.01
CV	6.19	9.75	6.10	13.64	6.11
Granulometrías (mm)					
2	1.16 c	0.17 b	0.11 b	0.14 ab	0.14 b
3	0.30 a	0.19 b	0.15 a	0.12 b	0.14 b
5	0.18 b	0.63 a	0.17 a	0.16 a	0.19 a
DHS	0.02	0.05	0.01	0.03	0.01
CV	6.19	9.75	6.10	13.64	6.11
V*G	*	*	*	*	*

²Medias con letras diferentes, en cada columna o factor, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones. DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación; V*G,

interacción de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato; *, significativo ($p \leq 0.05$).

La interacción V*G fue significativa en todos los tiempos de evaluación lo cual indica que: *C. pepo* var. Gray o Round Zucchini no siguen la misma tendencia, en los valores de la tasa de crecimiento relativo, en cada granulometría de tezontle (2, 3 o 5 mm). Dicho de otra manera, cada diámetro de tezontle no sigue la misma tendencia, en los valores de la tasa de crecimiento relativo, en cada variedad de calabacita (Gray o Round Zucchini).

En este y en los siguientes índices de crecimiento, cuando la interacción V*G sea significativa, los promedios de las combinaciones de, *C. pepo* var. Gray o Round Zucchini con cada granulometría del sustrato, se presentarán en un cuadro con el fin de ubicar la mejor combinación de cada variedad. Para el caso de la tasa de crecimiento relativo, las combinaciones que tuvieron los valores más altos, en la mayoría de los tiempos de evaluación, fueron calabacita Gray o Round Zucchini cultivadas en tezontle con partículas de 3 ó 5 mm de diámetro (Cuadro 5).

Cuadro 5. Combinaciones de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato para la tasa de crecimiento relativo ($\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$).

Combinaciones	Tiempo después del trasplante (semanas)				
	1	2	3	4	5
Gray Z. + 2 mm	0.20 b	0.16 b	0.17 ab	0.17 ab	0.20 a
Gray Z. + 3	0.21 b	0.20 b	0.19 a	0.13 b	0.17 b
Gray Z. + 5	0.21 b	1.10 a	0.15 b	0.21 a	0.20 a
Round Z. + 2	0.12 d	0.17 b	0.05 d	0.12 b	0.09 c
Round Z. + 3	0.38 a	0.18 b	0.11 c	0.12 b	0.11 c
Round Z. + 5	0.16 c	0.16 b	0.18 a	0.12 b	0.19 ab
DHS	0.03	0.08	0.02	0.05	0.02
CV (%)	6.19	9.75	6.10	13.74	6.11

²Medias con letras diferentes, en cada columna, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones. Z, Zucchini; DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación.

Sedano *et al.*, (2005) mencionan que, en calabacita, cilantro (*Coriandrum sativum*) y *Cucurbita moschata* (calabacita amarilla), la TCR decrece con el desarrollo del cultivo ya que el cociente tejido joven / tejido maduro disminuye. González *et al.*, (1986) indican que, durante el desarrollo de frutos de calabacita (48 a 62 días después de la siembra), la TRC tiende a mantenerse constante y luego decrece, lo que coincide con la etapa de senescencia foliar. Orozco *et al.*, (2016) refieren que este índice de crecimiento es mayor cuando la calabacita Gray Zucchini se cultiva en sustrato orgánico comparado con el inorgánico y que su actividad metabólica máxima ocurre entre los 40 y 60 días después de la siembra (dds). En el caso particular de este estudio, en las semanas 2, 4 y 5 la TCR fue mayor en calabacita Gray Zucchini, lo cual indica mayor actividad metabólica, asociada a mayor número de hojas y área foliar, comparada con Round Zucchini. Ambas variedades de calabacita tuvieron actividad metabólica mayor cuando se cultivaron en tezontle con granulometría de 5 mm, lo que podría estar asociado con su mayor capacidad de aireación comparado con las granulometrías de 2 o 3 mm.

6.3.2. Tasa de asimilación neta (TAN)

Excepto en la semana 5, la TAN fue similar en las dos variedades de calabacita. Con respecto a la granulometría del sustrato, en las semanas 1, 2 y 3, los valores de TAN fueron maraves cuando el cultivo se realizó en tezontle con granulometría de 3 o 5 mm. La interacción de las variedades de calabacita con con las granulometrías del sustrato fue significativa en las primeras tres semanas después del trasplante (Cuadro 6).

Cuadro 6. Tasa de asimilación neta ($\text{g cm}^{-2} \text{d}^{-1}$) en plantas de calabacita, variedades Gray o Round Zucchini, cultivadas en tezontle con tres granulometrías.

Factores	Tiempo después del trasplante (semanas)				
	1	2	3	4	5
Variedades					
Gray Zucchini	3.04 a	13.17 a	12.57 a	6.30 a	10.69 a
Round Zucchini	2.70 a	14.33 a	11.16 a	7.02 a	9.42 b
DHS	0.59	1.47	0.85	1.22	1.20
CV	20.11	10.46	7.02	17.96	11.63
Granulometrías (mm)					
2	2.50 b	12.20 b	11.10 b	16.47 a	9.42 a
3	2.51 b	13.67 ab	11.84 ab	6.64 a	9.87 a
5	3.61 a	15.37 a	12.66 a	6.86 a	10.87 a
DHS	0.89	2.21	1.28	1.84	1.80
CV	20.11	10.46	7.02	17.96	11.63
V*G	*	*	*	NS	NS

²Medias con letras diferentes, en cada columna o factor, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones. DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación; V*G, interacción de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato; *, significativo ($p \leq 0.05$); NS, no significativo.

Dado que, en las tres primeras semanas la interacción V*G fue significativa, lo cual indica que: cada granulometría de tezontle no sigue la misma tendencia, en los valores de la tasa de asimilación neta, en cada variedad de calabacita (Gray o Round Zucchini). Se obtuvieron los valores de las combinaciones entre las variedades de calabacita con las granulometrías del tezontle, observándose que los valores más altos de TAN se obtuvieron al cultivar calabacita Gray o Round Zucchini en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm (Cuadro 7).

Cuadro 7. Combinaciones de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato para la tasa de asimilación neta ($\text{g cm}^{-2} \text{d}^{-1}$).

Combinaciones	Tiempo después del trasplante (semanas)		
	1	2	3
Gray Z. + 2 mm	2.79 b	11.21 b	12.47 ab
Gray Z. + 3	2.21 b	13.67 ab	13.06 a
Gray Z. + 5	4.12 a	14.62 ab	12.19 ab
Round Z. + 2 mm	2.20 b	13.20 ab	9.74 c
Round Z. + 3	2.81 b	13.67 ab	10.62 bc
Round Z. + 5	3.11 a	16.13 a	13.14 a
DHS	1.28	3.94	2.28
CV (%)	20.11	10.46	7.02

²Medias con letras diferentes, en cada columna, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones; Z, Zucchini; DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación.

La tasa de asimilación neta (TAN) indica la ganancia neta de fotoasimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo. Sedano *et al.*, (2005); Santos *et al.* (2010) mencionan que la tasa de asimilación neta se puede considerar un estimador de la actividad fotosintética, durante el crecimiento del cultivo que puede alcanzar un valor máximo (por ejemplo, $15.75 \text{ g cm}^{-2} \text{d}^{-1}$) y luego decrecer. En este experimento se pudo notar que a partir de la semana 3, los valores de TAN fueron decreciendo debido a que algunas hojas iniciaban su fase de senescencia.

6.3.3. Área foliar específica (AFE)

En la semana 1, el área foliar específica fue de $113.5 \text{ cm}^2 \text{g}^{-1}$ sin diferencias significativas entre ambas variedades de calabacita. En las semanas 2, 4 y 5, el AFE fue mayor en Round Zucchini que Gray Zucchini. Sin embargo, a medida que el tiempo transcurrió los valores de AFE disminuyeron en ambas variedades. Con respecto a las granulometrías del sustrato, los valores mayores de AFE se

obtuvieron cuando el cultivo se realizó en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm (Cuadro 8).

Cuadro 8. Área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) en plantas de calabacita, variedades Gray o Round Zucchini, cultivadas en tezontle con tres granulometrías.

Factores	Tiempo después del trasplante (semanas)				
	1	2	3	4	5
Variedades					
Gray Zucchini	114.56 a	148.76 b	176.20 a	47.63 b	38.74 b
Round Zucchini	113.08 a	177.56 a	162.50 b	79.29 a	47.29 a
DHS	9.59	9.78	4.28	5.39	3.18
CV	8.20	5.83	2.46	8.28	7.20
Granulometrías (mm)					
2	78.89 b	148.51 b	159.37 b	81.42 a	32.21 b
3	187.99 a	99.85 c	192.70 a	45.33 c	31.28 b
5	74.78 b	241.12 a	156.02 b	63.62 b	65.56 a
DHS	14.38	14.66	6.42	8.09	4.77
CV	8.20	5.83	2.46	8.28	7.20
V*G	*	*	*	*	*

²Medias con letras diferentes, en cada columna o factor, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones. DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación; V*G, interacción de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato; *, significativo ($p \leq 0.05$).

La interacción V*G fue significativa, lo cual indica que: *C. pepo* var. Gray o Round Zucchini no siguen la misma tendencia, en los valores de área foliar específica, en cada granulometría de tezontle (2, 3 o 5 mm). Se obtuvieron los valores de las combinaciones entre las variedades de calabacita con las granulometrías del tezontle, observándose que los valores más altos de AFE se obtienen al cultivar calabacita Gray o Round Zucchini en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm (Cuadro 9).

Cuadro 9. Combinaciones de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato para el área foliar específica (cm² g⁻¹).

Combinaciones	Tiempo después del trasplante (semanas)				
	1	2	3	4	5
Gray Z. + 2 mm	75.68 b	122.10 d	139.44 d	46.14 c	34.13 c
Gray Z. + 3	182.99 a	49.93 e	250.84 a	42.12 c	33.82 c
Gray Z. + 5	85.08 b	274.25 a	167.04 d	54.62 c	48.26 b
Round Z. + 2	82.10 b	174.91 c	205.96 b	116.68 a	30.28 c
Round Z. + 3	192.98 a	151.10 c	134.55 d	48.55 c	28.74 c
Round Z. + 5	64.17 b	211.33 b	167.06 c	72.62 b	82.86 a
DHS	25.61	27.61	14.64	14.41	8.49
CV (%)	8.20	6.14	3.09	8.28	7.20

²Medias con letras diferentes, en cada columna, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones; Z, Zucchini; DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación.

La distribución de fotoasimilados dentro de la planta está regulada por el área foliar (Ho *et al.*, 1989; Marcelis, 1996; Tekalign y Hammes, 2005). Orozco *et al.*, (2016), mencionan que la importación de fotoasimilados captados durante las primeras etapas de crecimiento son cruciales para el rendimiento de los cultivos. En este experimento, el AFE fue mayor en la semana 2 y 3 y luego disminuyó de manera significativa, lo cual indica que la actividad metabólica mayor para la producción de fotoasimilados ocurre en este intervalo de tiempo.

6.3.4. Relación de área foliar (RAF)

En las semanas 1, 2 y 4, la relación de área foliar fue mayor en calabacita Round Zucchini. En la semana 3, se obtuvieron los valores más altos de RAF y en este tiempo de evaluación Gray Zucchini fue significativamente mayor que Round Zucchini. Posterior a la semana 3, los valores de RAF disminuyeron en ambas variedades de calabacita, lo que se asoció con el inicio de la senescencia en las hojas. El cultivo de calabacita en tezontle con granulometrías de 2, 3 o 5 mm incrementó los valores de la relación del área foliar (Cuadro 10).

Cuadro 10. Relación del área foliar ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) en plantas de calabacita, variedades Gray o Round Zucchini, cultivadas en tezontle con tres granulometrías.

Factores	Tiempo después del trasplante (semanas)				
	1	2	3	4	5
Variedades					
Gray Zucchini	61.22 b	68.11 b	117.40 a	36.46 b	27.80 a
Round Zucchini	74.41 a	81.01 a	90.80 b	43.49 a	30.69 a
DHS	7.16	5.75	5.30	5.14	3.48
CV	10.29	7.52	4.96	12.53	11.59
Granulometrías (mm)					
2	72.30 a	74.66 b	100.50 b	54.27 a	26.15 b
3	80.29 a	32.06 c	49.27 c	26.19 c	22.20 b
5	50.85 b	116.95 a	162.54 a	39.45 b	39.40 a
DHS	10.75	8.63	7.95	7.72	5.22
CV	10.29	7.52	4.96	12.53	11.59
V*G	*	*	*	*	*

²Medias con letras diferentes, en cada columna o factor, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones. DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación; V*G, interacción de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato; *, significativo ($p \leq 0.05$).

La interacción de V*G fue significativa en todos los tiempos de evaluación lo cual indica que: cada diámetro de tezontle no sigue la misma tendencia, en los valores de relación del área foliar, en cada variedad de calabacita (Gray o Round Zucchini). Se obtuvieron los valores de las combinaciones entre las variedades de calabacita con las granulometrías del tezontle, observándose que los valores más altos de RAF se obtuvieron al cultivar calabacita Gray o Round Zucchini en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm

Clavijo, (1989) menciona que, en las primeras fases del cultivo (semanas 1 y 2), la tasa fotosintética es alta y la tasa respiratoria es baja, lo que conlleva a la acumulación de fotoasimilados para el crecimiento y desarrollo. Posterior a ello, las hojas inician la senescencia, la acumulación de fotosintatos disminuye y con ello, los índices de crecimiento. Santos *et al.*, (2010) observaron que la relación de área foliar, en *Solanum tuberosum*, tiene sus máximos valores durante la semana 2 y 4, para luego decrecer abruptamente, similar a lo que se observó en *C. pepo* var. Gray o Raund Zucchini. Valores altos de RAF coinciden con área foliar y actividad metabólica mayores, con el inicio de la senescencia de las hojas, la RAF también disminuye.

6.3.7. Relación de peso foliar (RPF)

En las semanas 1 y 5 la relación de peso foliar fue mayor en calabacita Round Zucchini, mientras que en la semana 2 y 3 la RPF fue mayor en Gray Zucchini, lo que se asocia a mayor número de hojas y área foliar en esta variedad. En la semana 4, en ambas variedades de calabacita la RPF fue similar. En la última semana, el valor mayor de RPF en Round Zucchini indica que sus hojas inician la senescencia en etapas más tardías que las de Gray Zucchini. Con respecto a las granulometrías del sustrato, en la fase de mayor actividad metabólica (semanas 1, 2 y 3), el cultivo en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm estimuló el incremento en los valores de la RPF (Cuadro 11).

Cuadro 11. Relación de peso foliar (g g^{-1}) en plantas de calabacita, variedades Gray o Round Zucchini cultivadas en tezontle con tres granulometrías.

Factores	Tiempo después del trasplante (semanas)				
	1	2	3	4	5
Variedades					
Gray Zucchini	0.59 b	0.56 a	0.66 a	0.78 a	0.75 b
Round Zucchini	0.75 a	0.44 b	0.47 b	0.76 a	0.78 a
DHS	0.05	0.03	0.05	0.04	0.03
CV	7.87	6.91	8.64	5.44	4.23
Granulometrías (mm)					
2	0.61 b	0.47 b	0.51 b	0.79 a	0.77 a
3	0.66 b	0.38 c	0.60 a	0.73 a	0.78 a
5	0.75 a	0.65 a	0.58 ab	0.79 a	0.75 a
DHS	0.08	0.05	0.07	0.06	0.05
CV	7.87	6.91	8.64	5.44	4.23
V*G	*	*	*	NS	NS

²Medias con letras diferentes, en cada columna o factor, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones. DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación; V*G, interacción de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato; *, significativo ($p \leq 0.05$); NS, no significativo.

La interacción V*G fue significativa en las semanas 1, 2 y 3, lo cual indica que: *C. pepo* var. Gray Zucchini o Round Zucchini no siguen la misma tendencia, en los valores de la relación de peso foliar, en cada granulometría de tezontle (2, 3 o 5 mm), por lo que se obtuvieron los valores de las combinaciones entre las variedades de calabacita con las granulometrías del tezontle, observándose que los valores más altos de RPF se obtuvieron al cultivar calabacita Gray o Round Zucchini en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm (Cuadro 12).

Cuadro 12. Combinaciones de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato para la relación de peso foliar (g g^{-1}).

Combinaciones	Tiempo después del trasplante (semanas)		
	1	2	3
Gray Z. + 2 mm	0.49 c	0.46 c	0.63 ab
Gray Z. + 3	0.62 bc	0.58 ab	0.62 ab
Gray Z. + 5	0.67 ab	0.64 a	0.72 a
Round Z. + 2 mm	0.74 ab	0.48 bc	0.39 d
Round Z. + 3	0.70 ab	0.19 d	0.58 bc
Round Z. + 5	0.82 a	0.66 a	0.44 dc
DHS	0.14	0.09	0.13
CV (%)	7.87	6.91	8.64

²Medias con letras diferentes, en cada columna, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones. Z, Zucchini; DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación.

Azofeifa y Moreira (2004); Saleem, (2010) mencionan que la tasa de crecimiento del cultivo es directamente proporcional a la luz incidente y que conforme aumenta el número y tamaño de las hojas aumenta la relación de peso foliar. A diferencia de los otros índices evaluados que tuvieron sus mayores valores en las semanas 2 y 3, asociados a tasas fotosintéticas y actividad metabólicas mayores, para luego disminuir con el inicio de senescencia de las hojas. En la relación de peso foliar, los valores se mantuvieron similares en las cinco semanas de evaluación, lo cual indica que éste índice no está asociado con la eficiencia fotosintética o translocación de fotoasimilados, sino con la acumulación total de éstos para formar materia seca y que el incremento de la biomasa de las hojas fue proporcional al de la biomasa seca total.

6.3.8 Relación vástago/raíz (V/R)

En la primera semana de evaluación, la relación V/R fue mayor en calabacita Round Zucchini, mientras que en las semanas 2, 3 y 4 fue mayor Gray Zucchini. En la semana 5, ambas tuvieron un valor de 9.8 g g⁻¹ en la relación vástago/raíz. Con respecto a la granulometría del sustrato, dependiendo del tiempo de evaluación, el cultivo en tezontle con granulometrías de 2, 3 o 5 mm tuvo los valores mayores en la relación vástago/raíz (Cuadro 13).

Cuadro 13. Relación vástago/raíz (g g⁻¹) en plantas de calabacita, variedades Gray o Round Zucchini, cultivadas en tezontle con tres granulometrías.

Factores	Tiempo después del trasplante (semanas)				
	1	2	3	4	5
Variedades					
Gray Zucchini	6.6 b	4.02 a	7.04 a	8.91 a	9.81 a
Round Zucchini	9.5 a	2.52 b	2.70 b	6.40 b	9.89 a
DHS	1.4	0.42	0.64	1.04	0.61
CV	17.2	12.63	12.95	13.34	6.05
Granulometrías (mm)					
2	11.7 a	2.46 b	3.49 b	9.31 a	10.92 a
3	5.62 b	2.20 b	4.49 b	5.98 c	8.53 b
5	6.83 b	5.21 a	7.64 a	7.67 c	10.09 a
DHS	2.13	0.64	0.97	1.57	0.91
CV	17.2	12.63	12.95	13.34	6.05
V*G	*	*	*	*	*

²Medias con letras diferentes, en cada columna o factor, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones. DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación; V*G, interacción de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato; *, significativo ($p \leq 0.05$).

La interacción V*G fue significativa, lo cual indica que: *C. pepo* var. Gray o Round Zucchini no siguen la misma tendencia, en los valores de la relación vástago/raíz, en cada granulometría de tezontle (2, 3 o 5 mm), por lo que se obtuvieron los promedios de las combinaciones entre las variedades de calabacita con las granulometrías del tezontle, observándose que los valores más bajos de la relación V/R se obtuvieron al cultivar calabacita Gray o Round Zucchini en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm.

En la relación vástago/raíz, el cociente siempre fue mayor que 1.0, lo que indica una mayor producción de biomasa seca de las hojas y los tallos con respecto a las raíces. Los valores más altos indican disminución en la biomasa seca de raíces, mientras que valores pequeños indican que el peso seco de las raíces aumentó. En condiciones de estrés hídrico se esperarían valores bajos (cerca de 1.0) en la relación vástago/raíz, ya que la parte subterránea de la planta se extenderá en búsqueda de agua. Sin embargo, en cultivos hidropónicos como en este experimento el riego no fue limitante, por lo que los cambios en la relación V/R se atribuyeron al efecto de las variedades o de los tratamientos. Taiz *et al.*, (2006) mencionan que el vástago se desarrollará con el aporte de agua y elementos esenciales que provienen del sistema radical, mientras que el desarrollo de las raíces dependerá de la translocación de fotoasimilados que provienen de las hojas fotosintéticamente activas. Los cambios de estas relaciones dependen de las características de los cultivares, de estreses ambientales o de tratamientos aplicados. En este caso, los valores más bajos de la relación V/R se obtuvieron en las semanas 2 y 3 después del trasplante, lo que coincide con los valores más altos en los índices que indican síntesis y translocación de fotoasimilados, es decir con mayor actividad metabólica en ambas variedades de calabacita. El cultivo en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm promovió la biomasa seca raíces debido a su porosidad y capacidad de aireación principalmente.

6.4. Evaluaciones durante la cosecha

6.4.1. Numero de botones florales, peso, volumen y número de frutos

Calabacita Gray Zucchini tuvo 32 botones florales y 6.8 frutos, significativamente mayores comparado con Round Zucchini que tuvo 27 botones y 5.8 frutos. El volumen de los frutos (41.5 cm³) fue similar en ambas variedades, pero el peso fue mayor en Round Zucchini. El cultivo de calabacita en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm promovió el número de botones florales, peso, volumen y número de frutos (Cuadro 14).

Cuadro 14. Numero de botones florales, peso, volumen y número de frutos de calabacita variedades Gray o Round Zucchini cultivadas en tezontle con tres granulometrías.

Factores	Número de botones florales	Frutos		
		Número	Peso (g)	Volumen (cm ³)
Variedades				
Gray Zucchini	32.11 a	6.77 a	38.60 b	41 a
Round Zucchini	27.44 b	5.77 b	48.44 a	42.11 a
DHS	1.81	0.90	4.37	5.13
CV	5.92	14.04	11.72	14.40
Granulometrías (mm)				
2	26 c	4.66 b	25.01 b	27.62 b
3	29.33 b	7 a	53.75 a	50.17 a
5	34 a	7.17 a	51.80 a	43.87 a
DHS	2.71	1.35	6.51	7.63
CV	5.92	14.04	11.72	14.40
V*G	*	*	*	*

²Medias con letras diferentes, en cada columna o factor, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones. DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación; V*G,

interacción de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato; *, significativo ($p \leq 0.05$).

La interacción V*G fue significativa, lo cual indica que: cada granulometría de tezontle (2, 3 o 5 mm) no sigue la misma tendencia, en los valores de número de botones florales, peso, volumen o número de frutos, en cada variedad de calabacita (Gray o Round Zucchini), por lo que se obtuvieron los promedios de las combinaciones entre las variedades de calabacita con las granulometrías del tezontle, observándose que los valores más altos para estas variables se obtuvieron al cultivar calabacita Gray o Round Zucchini en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm (Cuadro 15).

Cuadro 15. Combinaciones de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato para número de botones florales, peso, volumen y número de fruto.

Combinaciones	Número de botones florales	Frutos		
		Número	Peso (g)	Volumen (cm ³)
Gray Z. + 2 mm	28.66 bc	4.66 b	20.40 c	14.75 c
Gray Z. + 3	33 ab	7.33 a	44.51 b	56.25 a
Gray Z. + 5	34.66 a	8.33 a	50.88 b	52 ab
Round Z. + 2	23.33 d	4.66 b	29.62 c	40.50 b
Round Z. + 3	25.66 cd	6.66 ab	62.99 a	44.10 ab
Round Z. + 5	33.33 ab	6 ab	52.73 ab	41.75 b
DMS	4.83	2.41	11.46	13.45
CV (%)	5.92	14.04	11.72	14.40

²Medias con letras diferentes, en cada columna, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones; Z, Zucchini; DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación.

Paredes (1993) menciona que cuando se cultiva calabacita en jal con partículas de 2.5 mm se estimula la emisión de flores masculinas, pero con 5 mm se producen más flores femeninas. En este trabajo el cultivo de calabacita Gray o Round Zucchini en tezontle con granulometría de 5 mm promovió el número de botones florales sin considerar si fueron masculinas o femeninas. Ocurrió lo mismo con el número, peso y volumen de frutos. Sedano *et al.*, (2005) menciona que las plantas de calabacita son capaces de producir más de 20 botones florales, pero en promedio, siete llegan a convertirse en frutos, debido a que el área foliar sólo dura 90 días y los fotoasimilados que se translocan a los frutos disminuyen significativamente. En este experimento, el amarre de frutos o de flores femeninas que originaron un fruto fue de 21 % en calabacita Gray o Round Zucchini. La fuente de producción de fotoasimilados (número de hojas y área foliar) fue mayor en Gray Zucchini. Sin embargo, el volumen de frutos fue similar en ambas variedades, lo cual indica que la eficiencia fotosintética y la translocación de fotoasimilados hacia los frutos fue similar en ambas variedades. Peil y Galvez, (2005); Stephenson *et al.*, (1988) mencionan que la producción de fotoasimilados debe distribuirse tanto para los frutos como para los órganos vegetativos que se encuentran en crecimiento. Eliminar las hojas inmaduras es una forma de dirigir los fotoasimilados hacia los frutos durante su crecimiento y desarrollo.

6.4.2 Longitud, peso fresco y peso seco de raíces, índice de cosecha

La longitud de raíces fue de 27 cm, sin diferencias entre ambas variedades de calabacita. En tezontle con partículas de 3 o 5 mm, la longitud de raíces fue de 28 cm, significativamente mayor que con partículas de 2 mm donde las raíces tuvieron una longitud de 24 cm. Los pesos frescos y secos de las raíces fueron similares en ambas variedades de calabacita y no fueron afectados por el diámetro de las partículas, pero el índice de cosecha fue mayor en Round Zucchini y cuando el cultivo se realizó en tezontle con partículas de 3 o 5 mm (Cuadro 16).

Cuadro 16. Longitud, peso fresco y peso seco de la raíces e índice de cosecha de calabacita variedades Gray o Round Zucchini cultivadas en tezontle con tres granulometrías.

Factores	Raíces			Índice de cosecha
	Longitud (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	
Variedades				
Gray Zucchini	26.37 a	76.73 a	21.19 a	0.54 b
Round Zucchini	27.30 a	70.78 a	21.76 a	0.65 a
DHS	3.01	38.72	11.41	0.07
CV	10.93	50.99	51.74	14.64
Granulometría (mm)				
2	24.21 b	80.47 a	24.49 a	0.45 c
3	27.11 ab	76.62 a	21.20 a	0.74 a
5	29.18 a	64.18 a	18.74 a	0.60 b
DHS	4.52	57.92	17.11	0.11
CV	10.93	50.99	51.74	14.64
V*G	*	NS	NS	*

²Medias con letras diferentes, en cada columna o factor, indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de tres repeticiones. DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación; V*G, interacción de las variedades de calabacita con las granulometrías del sustrato; *, significativo ($p \leq 0.05$); NS, no significativo.

Para la longitud de raíces y el índice de cosecha, la interacción V*G fue significativa, lo cual indica que: *C. pepo* var. Gray o Round Zucchini no siguen la misma tendencia, en los valores de longitud de raíces o índice de cosecha, en cada granulometría de tezontle (2, 3 o 5 mm), por lo que se obtuvieron los promedios de las combinaciones entre las variedades de calabacita con las granulometrías del tezontle, observándose que los valores más altos para estas variables se obtuvieron al cultivar calabacita Gray o Round Zucchini en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm.

Las partículas de tezontle con 3 o 5 mm proporcionan mayor aireación al sustrato comparado con las de 2 mm. La aireación del sustrato resulta importante porque está directamente relacionada con la concentración de oxígeno y éste con la respiración de las raíces. Raíces bien aireadas no limitan su crecimiento y su longitud es mayor comparada con las que se desarrollan en sustratos con partículas pequeñas donde la aireación es menor (Morard *et al.*, 2000; Porterfield y Musgrave, 1998). Los resultados obtenidos en este experimento indican que las partículas de tezontle de 3 o 5 mm no presentaron ninguna limitante en cuanto a la disponibilidad de oxígeno.

6.4.3 Distribución de raíces en el sustrato

En las macetas con tezontle de 5 mm de diámetro, las raíces de calabacita Gray o Round Zucchini se distribuyeron en la mayor parte del sustrato, mientras que en las de 2 o 3 mm, la distribución de raíces fue mas limitada y no tan visible (Figura 12).



Figura 12. Distribución de raíces de calabacita Gray o Round Zucchini cultivadas en tezontle de tres granulometrías.

La distribución de raíces en mayor volumen de suelo o sustrato se relaciona positivamente con la producción de biomasa o rendimiento de los cultivos (Sellés *et al.*, 2003; y Ruiz *et al.*, 2007). El vigor del sistema radical se ve reflejado en la morfología y crecimiento de la parte aérea de la planta (Landis *et al.*, 1990; Ledent, 2002; Escobar, 2007; Sellés y Ferreyra, 2007). En este experimento, las raíces tuvieron mayor expansión y longitud cuando se cultivaron en tezontle con granulometría de 3 o 5 mm, lo que se relacionó con valores altos en índices de crecimiento y variables asociadas con el rendimiento.

7.0 CONCLUSIONES

Cucurbita pepo var. Gray Zucchini tiene mayor número de hojas y área foliar que Round Zucchini.

Las granulometrías del tezontle no tuvieron efecto en la altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas o área foliar, en ambas variedades de calabacita.

Los índices de crecimiento relacionados con el área y la biomasa foliar fueron mayores en Round Zucchini, mientras que los implicados en biomasa seca total, lo fueron en Gray Zucchini.

Los valores de los índices de crecimiento indicaron que la actividad metabólica mayor, expresada como materia seca producida, ocurre en las semanas 2 y 3 después del trasplante de calabacita Gray o Round Zucchini.

El cultivo en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm favorece la dinámica de crecimiento, rendimiento y longitud de raíces de *Cucurbita pepo* var. Gray Zucchini y Round Zucchini.

Con los valores del índice vástago/raíz se determinó que *Cucurbita pepo* var. Gray Zucchini distribuye mayor biomasa en la parte aérea y Round Zucchini en la porción radical.

El número de flores o frutos por planta fue mayor en *Cucurbita pepo* var. Gray Zucchini, pero el volumen de los frutos fue similar en ambas variedades.

Para tener mejores rendimientos, el cultivo de calabacita Gray o Round Zucchini debe realizarse en tezontle con granulometrías de 3 o 5 mm y el fertirriego con solución Steiner de 2.0 dS m⁻¹.

8.0 LITERATURA CITADA

- Ansorena-Miner J. 1994. Sustratos: Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 pp.
- Azarpour E., Moraditochae M. y Reza B.H. 2014. Effect of nitrogen fertilizer management on growth analysis of rice cultivars. *International Journal of Biosciences* 4(5):35-47.
- Azcón B.J., Fleck I., Aranda X. y Gómez C.N. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Capítulo 13. Fotosíntesis, factores ambientales y cambio climático. McGraw-Hill Interamericana México. 247-255 pp.
- Azofeifa A. y Moreira M.A. 2004. Análisis de crecimiento de chile jalapeño (*Capsicum annum L* c v. Hot), en Alajuela, Costa rica. *Agronomía Costarricense* 28:57-67 pp.
- Basegoda A.X.A. 2015. Evaluación de sustratos para hidroponía en canaletas para producción de chile pimiento. Tesis de Licenciatura. Universidad Rafael Landívar. Sede regional de Coatepeque. 1-10 pp.
- Basurto P.F., Castro L.D., Mera O.L.M. y Juárez C.T. 2015. Etnobotánica de las calabazas cultivadas (*Cucurbita spp.*) en valles centrales de Oaxaca, México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, México, Distrito Federal. México. 47-48 pp.
- Bowman D.C. y Paul J.L. 1983. Understanding of container media vital knowledge for growing successful plants. *Pacific Coast Nurseryman and Garden Supply Dealer*. March Issue.
- Bunt A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Hyman Ltd., Great Britain. 309 pp.
- Bures P. S. 2002. Sustratos: propiedades físicas, químicas y biológicas. Informe sobre la industria Hortícola.

- Cabrera R. I. 1995. Fundamentals of container media management, Part. 1. Physical properties. Rutgers Cooperative Extension Factsheet No. 950. 4 pp.
- Cabrera R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo Serie Horticultura 5(1):5-11.
- Caili F.U., Huan S.H. y Quanhong L.I. 2006. A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin. Plant Foods for Human Nutrition 61:70-77.
- Calderón S. F. y Cevallos F. 2002. Los sustratos. Drcalderonlabs. Bogotá D. C., Colombia. Disponible en:
http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm
 [Consultado el 28 de junio de 2018].
- Castro G.P. 2015. Análisis de crecimiento y acumulación de biomasa en tomillo (*Thymus vulgaris* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma De Baja California Sur Área De Conocimiento De Ciencias Agropecuarias. 34 pp.
- Chen-yuan, M., Cui-shi, M., Wang-ruo, Q., Han-feng, Y., Chen, Y.M., Cui, S.M., Wang, R.Q. y Han, F.Y. 1997. Studies on fruit development law of seed pumpkin during the fruiting stage. Acta Agriculturae Boreali Sinica 12(1):72-76.
- Clavijo J. 1989. Análisis de crecimiento en malezas. Revista Comalfi. 15:12-16.
- CONABIO. 2008. Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM). Proyecto GEF-CIBIOGEM. Disponible en:
http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20870_sg7.pdf
 f_[Consultado el 30 de junio de 2019].
- Escobar R. 2007. *Eucalyptus globulus* a raíz cubierta. Manual de viverización. Trama Impresores. Hualpen Chile. 229 pp.

Escalante-Estrada, J.A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Terra 17:149-57.

FAO/ITC/CTA (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2001. World markets for organic fruit and vegetables - Opportunities for developing countries in the production and export of organic horticultural products. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/004/y1669e/y1669e00.htm>. [Consultado 22 de Abril de 2012].

FAO-FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2012. Trade. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>. [Consultado 31 de enero de 2012].

FEN (Fundación Española de la Nutrición). 2012. Calabacín. Disponible en: <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/calabacin.pdf> [Consultado el 28 de junio de 2018].

Florian M.P. y Roca D. 2010. Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Departamento de Horticultura Apartado Oficial.

Hortalizas. MAL UBICADA 2008. Calabacita en invernadero. <http://www.hortalizas.com/miscelaneos/calabacita-en-invernadero/> [Consultado el 28 de junio de 2018].

INTRAGRI. 2006. Importancia de la Radiación Solar en la Producción Bajo Invernadero disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/importancia-de-la-radiacion-solar-en-la-produccion-bajo-invernadero> [Consultado el 28 de Junio de 2018].

Gardner F.P., Pearce R.B. y Mitchell R.L. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press. USA. 325 pp.

Gifford M. R. y Evans L. T. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. Division of Plant Industry. CSIRO, ACT Australia, 485 pp.

- Guenkov G. 1969. Fundamentos de la horticultura cubana. La Habana: Ciencia y Técnica, 450 pp.
- Harel D., Fadida H., Alik S., Gantz S. y Shilo K. 2014. El efecto de la temperatura media diaria y la humedad relativa con relación al polen, el cuaje de los frutos y el rendimiento del tomate en cultivos comerciales protegidos. Naandanjain Jain Irrigation Company. Disponible en: http://es.naandanjain.com/uploads/Crop%20Booklets/Spanish/NDJ_cooling_tomatos_GH_span_100414F.pdf
- Helms T.D. y Baker F. 1982. Principios de silvicultura. McGraw-Hill Co. Inc. México, 492 pp.
- Hernández D.J., Zavala G.F. y Guzmán B.H. 1999. Análisis de crecimiento en cilantro (*Coriandrum sativum* L.) establecidos en diferentes ambientes. Programa y Notas Científicas del VIII Congreso de Horticultura 25 al 30 de abril. Manzanillo, Colima, México. 117 pp.
- Ho L.C., Grange R.I. y Shaw, A.F. 1989. Transport of photoassimilates. Longman Scientific and Technical. Essex, U. K. 306-343 pp.
- Hunt R. 1978. Plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, London. 67 pp.
- Hunt R., Weber J. y Gates D. 1985. Effects of nitrate application on *Amaranthus powellii* wats. III. optimal allocation of leaf nitrogen for photosynthesis and stomatal conductance. Plant Physiology. 79:619-624.
- Hunt R. 2017. Growth analysis, individual plants. In: Encyclopedia of Applied Plant Sciences. 2nd ed. B. Thomas, B. G. Murray and D. J. Murphy (Eds.). Academic Press. Oxford, UK.. 421-429 pp.
- Landis T.D., Tinus R.W., McDonald S.E. y Barnett J.P. 1990. Containers and growing media. Container Tree Nursery Manual. Forest Service. Washington DC. Vol. 2 USDA.

- Ledent J.F. 2002. Déficit hídrico y crecimiento de las plantas: Respuestas al déficit hídrico; Comportamiento morfo fisiológico/Modelado del crecimiento de las plantas: Manual. Fundación Proinpa, Centro Internacional de la Papa. Lima Perú. 15-25 pp.
- Lira, R. 1995. Estudios taxonómicos en el Género *Sechium* P. Br. (*Cucurbitaceae*). Tesis Doctorado en Ciencias. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 267 pp.
- López, P., Lorenzo J., Castilla N.J., Pérez-parra J., Monter L., Baeza E., Antón A., Fernández M.D., Baille A. y González R.M. 2001. Incorporación de tecnología al invernadero mediterráneo. Cajamar. Almería, España.
- Marasssi M. A. 2014. Guía de Estudio de Fisiología Vegetal: Crecimiento y Desarrollo. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. pp. 1.
- Maroto B.J.V. 1989. Horticultura herbácea especial. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Mohr L.B. 1995. Impact analysis for program evaluation. SAGE Publications, Inc. Segunda edición.
- Molina-Aiz, F.D., Valera D.L., Peña A.A., Gil J.A., y López A. 2009. A study of natural ventilation in an Almería-type greenhouse with insect screens by means of tri-sonic anemometry. *Biosyst. Eng.* 104:224-242.
- Monares G.I., Ceja T.L.F., Gallardo E.C., Vázquez G.G. y Estrada S.O. 2009. Tamaños de Partículas y Tiempos de Aplicación de la Harina de Pescado (*Plecostomus spp.*) En la Producción de Calabacita, Tesis de Maestría IPN. Jiquilpan, Michoacán, México. 97 pp.
- Mora L. 1999. Sustratos para cultivos sin suelo en hidroponía. XI Congreso Nacional Agronómico / III Congreso Nacional de Suelos. 1999. Indagro. San José, Costa Rica. 95-96 pp.
- Muñoz C., Peña G. y Díaz R. 2017. Producción de almácigos para Chiloé y Patagonia Verde. Instituto de Investigaciones Agropecuaria. Informativo N° 170.

- Orozco V.J.A., Galindo E.P., Segura M.A.C., Fortis H.M., Preciado P.R., Yescas P.C. y Montemayor T.J.A. 2016. Dinámica de crecimiento de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en un sustrato a base de vermicomposta en invernadero. *Revista Internacional de Botánica* 85:117-124.
- Paredes C.C.U. 1993. Evaluación granulométrica del jal en el cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.), bajo un sistema hidropónico. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Nayarit. Facultad de Agricultura. 5-82 pp.
- Peil, R.M. y Gálvez J.L. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasileña Agrociência* 11(1):05-11.
- Pineda P.J., Castillo G.M., Morales C., Colinas L. M. T., Valdez A.L. y Avitia, G.E. 2008. Efluentes y sustratos en el desarrollo de nochebuena. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(2):131-137.
- Poorter H. y Villar R. 1997. The fate of acquired carbon in plants: chemical composition and construction costs. *Resource allocation in plants*. Academic Press. San Diego, E.E. U.U. 39-72 pp.
- Proyecto de Modernización de los Servicios de Transferencia de Tecnología Agrícola. PROMOSTA. 2005. El cultivo de la calabacita 4. Guía Tecnológica de frutas y vegetales.
- Prusinkiewicz P. 2004. Modeling plant growth and development. *Current Opinion in Plant Biology* 7:79-83.
- Radillo B S. 2018. Crecimiento y rendimiento de rábano (*Raphanus sativus* L.) cv. Champion cultivado en solución nutritiva con tres sustratos inorgánicos y dos densidades de siembra. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. 18-23 pp.
- Resh M.H. 2006. Cultivos hidropónicos, Una guía completa de los métodos actuales de cultivo sin suelo. Para técnicos y agricultores profesionales,

así como para los aficionados especializados. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona Esp. 61-65 pp.

Rincón G.N., Olarte Q.M.A. y Pérez N.J.C. 2012. Determinación del Área Foliar en Fotografías Tomadas con una Cámara Web, un Teléfono Celular o una Cámara Semiprofesional. Revista Facultad Nacional Agrónoma Medellín 65(1):6399-6405.

Rodríguez, M.W. 2001. Botánica, domesticación y fisiología del cultivo de ñame (*Dioscorea alata*). Agronomía Mesoamericana 11(2):133-152.

Rodríguez C.J.P., Raffailac J.P. y Alcon M.C.L. 2006. Uso del programa Sigma Scan Pro 5 para la determinación del área foliar. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. Ingeniería Agronómica. Instituto de Investigación para el Desarrollo y Cooperación (IRD).

Ruiz, R., Sellés G., y Ahumada R. 2007. Aspectos físicos del suelo y calidad de fruta en parronales de uva de mesa. In: Muñoz, I., M. González, y G. Sellés. (eds). Manejo de Suelo y Riego en Vides para Vino y Mesa. Serie Actas 39. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Santiago, Chile. 101-114 pp.

Russell G., Marshall B. y Jarvis P.G. 1990. Plant canopies: their growth, form and function. Cambridge University Press.

SAGARPA. 2014. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON). México. SAGARPA.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2014. Programa Integral de Desarrollo Rural 2014. Componente de Agricultura Familiar Periurbana y de Traspatio. Cultivo de calabacita. Estado de México. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/Documents/AgriculturaF/CALABACITA.pdf>. [Consultado el 28 de junio de 2018].

Saleem M.M., Maqsood A., Javaid M.U., y Khaliq T. 2010. Optimum irrigation and integrated nutrition improves the crop growth and net assimilation rate of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Pakistan Journal of Botany 42: 3659-3669.

- Sánchez C.F. y Escalante R.E.R. 1988. Hidroponía. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 144 pp.
- San Martín H.C., Ordaz C.V.M., Sánchez G.P., Colinas, L.M.T. y Borges G.L. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. Revista Agrocencia 46(3):243-254.
- Santos C.M., Segura A.M. y Ñustez L.C.E. 2010. Análisis de Crecimiento y Relación Fuente-Demanda de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín. 63(1):5253-5266.
- Sedano C.G., González V.A.H., Engleman E.M. y Villanueva. C.V. 2005. Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita. Revista Chapingo Serie Horticultura 11:291-297.
- Sedano C.G., González. V., Saucedo V.C., Soto H., Sandoval V.M. y Carrillo S. 2011. Rendimiento y calidad de frutos de calabacita con altas dosis de N y K. Terra Latinoamericana. 29(2):133-142.
- Segura C.M.A., Preciado P.R., González G.C., Frías J.E.R., García G.L., Orozco J.A.V. y Enríquez M.S. 2008. Adición de material pomáceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad. Revista Interciencia 33:923-928.
- Sellés G., Ferreyra R., Contreras G., Ahumada R., Valenzuela J., y Bravo R. 2003. Manejo de riego por goteo en uva de mesa cv. Thompson Seedless cultivada en suelos de textura fina. Agricultura Tecnológica. 63(2):180-192.
- Sellés G., y Ferreyra R. 2007. Criterios para controlar el riego en uva de mesa. In: Muñoz, I., M. González, y G. Sellés. (eds). Manejo de Suelo y Riego en Vides para Vino y Mesa. Serie Actas 39. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Santiago, Chile. 15-58 pp.
- Simpson R., Lambers H. y Dalling M. 1983. Nitrogen Redistribution during Grain Growth in Wheat (*Triticum aestivum* L.): IV. Development of a Quantitative

- Model of the Translocation of Nitrogen to the Grain. *Plant Physiology* 71:7-14.
- Steiner A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15:134-154.
- Slatyer R.O. 1967. *Plant-water relationships*. Academic Press, London.
- Steiner A.A. 1968. Soilless culture. Proceedings of the 6th Colloquium of the Internacional Potash Institute. 324-341 pp.
- Steiner A.A. 1997. Principles of plant nutrition by recirculating nutrient solutions. Proceedings 9th International Congress Soilless Culture 1997. Jersey, Reino Unido 634-649 pp.
- Swank J., Below F., Lambert R. y Hageman R. 1998. Interaction of Carbon and Nitrogen Metabolism in the Productivity of Maize. *Plant Physiol.* 70:1185-1190.
- Tamari S., Samaniego D., Bonola M., Bandala I.E.R., y Ordaz, V.M.C. 2005. Particle density of volcanic scoria determined by water pycnometry. *Geotechnology Test. J.* 28:1-6.
- Taylor M.J. y Brant J. 2002. Trends in world Cucurbit production. D.N. Maynard (ed.). 373-379 pp.
- Taíz, L. y E. Zeiger (2006). *Plant Physiology*. Fourth Edition. Sinauer. Associates. Sunderland, Massachusetts. 2da edición. 764 pp.
- Tekalign T. y Hammes P.S. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia Horticulturae* 105(1):29-44
- Trejo T.L.I., Ramírez M.M., Gómez M.F.C., García A.C.J., Baca C.G.A. y Tejeda S.O. 2013. Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 4(5):863-876.

- Tolley L y Raper D. 1986. Utilization of Ammonium as a Nitrogen Source: Effects of Ambient Acidity on Growth and Nitrogen Accumulation by Soybean. *Plant Physiology* 82:54-60
- Torres L.U., Hernández O.F. y González C.M.S. 2016. Respuesta del jitomate, calabaza y chile al cultivo hidropónico por goteo. Feria de las Ciencias. La Tecnología y la Innovación. Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Naucalpan. Disponible en: https://feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria24/feria149_01_respu_esta_del_jitomate_calabaza_y_chile_al_cultivo.pdf
- Tucuch-Haas C.J. Alcantar G.G., Ordaz C.V.M., Santinzo R.J.A. y Jarque S.A. 2011. Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* jacq.) con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latina* 30:9-15.
- Valadez L. A. 1989. Producción de hortalizas. Limusa. México, D. F.
- Vargas. T.P., Castellanos R.J. Sánchez G.P., Tijerina C.L., López R.M.R., Martínez S.C. y Ojo de agua A.J.L. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura técnica en México*. 34(3):323-331.
- Vázquez A.J., Peña V.C.B., Trejo C., Villegas B.A., Benedicto V.S. y Sánchez G.P. 2015. Promoción del crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con dosis subletales de ozono aplicadas al medio de cultivo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(4):405-413.
- Zitácuaro C.H.F. y Aparicio R.A. 2004. Variación de altura y diámetro de plántulas de *Pinus oaxacana* Mirov de tres poblaciones de México. *Foresta veracruzana* 6(1):21-26.
- Walker A.J. y Hay R.K.M. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. New York, Longmans Scientific and Technical. 292 pp.