



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

**FERTILIZACIÓN DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN TOMATE
DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

**Presenta:
CAROLINA RIVERA CABELLO**

**Bajo la supervisión de:
Dr. Aureliano Peña Lomelí**



Instituto de Horticultura



APROBADA



Chapingo, Estado de México, junio de 2022.

FERTILIZACIÓN DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN TOMATE DE
CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

Tesis realizada por **CAROLINA RIVERA CABELLO** bajo la supervisión
del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como
requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



DIRECTOR:

Dr. Aureliano Peña Lomelí



CO-DIRECTOR:

Dr. Natanael Magaña Lira



ASESOR:

Dr. Rogelio Castro Brindis

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	viii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
DEDICATORIA	x
DATOS BIOGRÁFICOS	xi
RESUMEN GENERAL.....	xii
GENERAL SUMMARY.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos particulares.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1. Aspectos generales del tomate de cáscara	4
3.1.1. Origen y distribución	4
3.1.2. Importancia del tomate de cáscara a nivel nacional.....	4
3.2. Características botánicas y agronómicas del tomate de cáscara .	5
3.2.1. Taxonomía y descripción botánica	5
3.2.2. Fisiología	7
3.2.3. Aspectos fitosanitarios.....	8
3.3. Factores climáticos que influyen en la producción.....	10
3.3.1. Temperatura	10
3.3.2. Intensidad luminosa.....	11
3.3.3. Humedad	11
3.4. Fertilización	11
3.5. Eficiencia en el uso de fertilizantes de síntesis química o convencionales	12
3.6. Fertilizantes de liberación controlada.....	15
3.7. LITERATURA CITADA.....	18
4. FERTILIZACIÓN DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN TOMATE DE CÁSCARA (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) BAJO INVERNADERO 26	
RESUMEN	26
ABSTRACT	27
4.1. INTRODUCCIÓN	28
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS	29
4.2.1. Ubicación de la fase experimental.....	29
4.2.2. Material vegetal	29

4.2.3. Características fisicoquímicas del suelo y el agua empleados en el experimento	30
4.2.4. Establecimiento bajo invernadero	31
4.2.5. Diseño de tratamientos y diseño experimental.....	31
4.2.6. Variables evaluadas	33
4.2.7. Análisis estadístico	38
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.3.1. Análisis de varianza.....	39
4.3.2. Comparaciones de medias.....	42
4.4. CONCLUSIONES	49
4.5. LITERATURA CITADA.....	50
5. FERTILIZACIÓN DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN TOMATE DE CÁSCARA (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) A CAMPO ABIERTO..	53
RESUMEN	53
ABSTRACT	54
5.1. INTRODUCCIÓN	55
5.2. MATERIALES Y MÉTODOS	57
5.2.1. Ubicación de la fase experimental.....	57
5.2.2. Material vegetal	57
5.2.3. Establecimiento en campo abierto	58
5.2.4. Diseño de tratamientos y diseño experimental.....	59
5.2.5. Variables evaluadas	60
5.2.6. Análisis estadístico.....	64
5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
5.3.1. Análisis de varianza.....	64
5.3.2. Comparaciones de medias.....	68
5.4. CONCLUSIONES	76
5.5. LITERATURA CITADA.....	76

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características químicas del suelo y agua utilizados en el experimento.	30
Cuadro 2. Características físicas del suelo utilizado en el experimento.	31
Cuadro 3. Análisis de varianza para altura de planta, número de hojas y brotes por planta en tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	39
Cuadro 4. Análisis de varianza para número de botones, flores y bolsas por planta en tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	40
Cuadro 5. Análisis de varianza del contenido de clorofila en hojas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	40
Cuadro 6. Análisis de varianza del peso fresco y volumen de 10 frutos, rendimiento por cosecha y rendimiento total de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada, obtenidos en tres cosechas.	41
Cuadro 7. Análisis de varianza del peso de hojas, tallos y frutos en plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada, obtenidos en tres cosechas.	42
Cuadro 8. Comparación de medias para altura de planta, número de hojas y brotes por planta en tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	44
Cuadro 9. Comparación de medias para número de botones florales, flores y bolsas por planta en tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	46
Cuadro 10. Comparación de medias para contenido de clorofila en hojas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	47
Cuadro 11. Comparación de medias para peso fresco y volumen de 10 frutos; y rendimiento obtenido por cosecha y total en tres cosechas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	48

Cuadro 12. Comparación de medias para peso de hojas, tallos y frutos de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	49
Cuadro 13. Análisis de varianza de altura de planta y número de hojas en tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	64
Cuadro 14. Análisis de varianza de número de botones florales, flores y bolsas por planta en tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	65
Cuadro 15. Análisis de varianza del contenido de clorofila en hojas en plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	66
Cuadro 16. Análisis de varianza del peso fresco, volumen y peso seco de diez frutos en tres cosechas y rendimiento por cosecha y total en tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	67
Cuadro 17. Análisis de varianza del peso fresco y seco de frutos y área foliar en plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada, primera y segunda cosecha.	67
Cuadro 18. Comparación de medias para altura de planta y número de hojas por planta en tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	69
Cuadro 19. Comparación de medias para número de botones florales, flores y bolsas por planta en tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	71
Cuadro 20. Comparación de medias para contenido de clorofila en hojas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	72
Cuadro 21. Comparación de medias para peso fresco, volumen y peso seco de diez frutos de tomate de cáscara por cosecha y promedio, y rendimiento obtenido por cosecha y total aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.	74
Cuadro 22. Comparación de medias para peso fresco y seco de frutos y área foliar en plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.)	

aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada, primera y segunda cosecha.	75
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dosis de FLC por maceta.	32
Figura 2. Tinacos con soluciones nutritivas para los tratamientos hidropónicos.....	32
Figura 3. Tezontle como sustrato en tratamientos hidropónicos (izquierda) y plantas establecidas en suelo con FLC (derecha).	33
Figura 4. Medición de altura de planta.	33
Figura 5. Número de hojas por planta.	34
Figura 6. Estructuras consideradas brotes basales (señaladas con flechas amarillas).....	34
Figura 7. Tamaño de botón floral adecuado para dicha variable.	35
Figura 8. Estructuras consideradas como flores para el conteo de ésta variable.....	35
Figura 9. Estructuras adecuadas para el conteo de bolsas por planta.	36
Figura 10. Determinación de contenido de clorofila en hojas con medidor SPAD.	37
Figura 11. Determinación de volumen de 10 frutos.	37
Figura 12. Peso fresco de hojas, tallos y frutos de tomate de cáscara.....	38
Figura 13. Tomate de cáscara variedad Morado San Miguel.	58
Figura 14. Colocación de ground cover para disminuir presencia de malezas y plagas.....	59
Figura 15. Determinación de volumen (izquierda) y peso seco (derecha) de 10 frutos.	62
Figura 16. Determinación de peso seco de frutos.....	63
Figura 17. Integrador foliar Li-Cor® 3100 para determinar área foliar	63

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por haberme otorgado la beca que hizo posible lograr un grado más en mi formación académica.

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, especialmente al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Posgrado.

A mi comité asesor **Dr. Aureliano Peña Lomelí, Dr. Natanael Magaña Lira y Dr. Rogelio Castro Brindis** del Departamento de Fitotecnia por su total disposición, confianza, asesoría, correcciones y contribuciones para realizar esta investigación y durante mis estudios.

Al **Dr. José Oscar Mascorro Gallardo**, coordinador del Posgrado en Horticultura por su disposición y ayuda brindada.

Al **Dr. Alejandro F. Barrientos Priego**, actual coordinador del Posgrado en Horticultura por su confianza, disposición y ayuda brindada para la mejora del presente trabajo de investigación.

Especial agradecimiento al personal técnico del Programa de Mejoramiento Genético de Tomate de Cáscara (César Ayala Monsalvo) por su amabilidad y disposición para conmigo en las etapas de este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios,

Por darme la oportunidad de vivir y estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi apoyo y compañía durante el periodo de estudio.

A mi mami y mi hermano,

Por su amor y apoyo incondicional, sus consejos, compañía y ayuda en cada meta que me propongo, y su inmensa paciencia en los momentos difíciles.

A mis amigos,

Por cada momento de alegría junto a ellos, por hacer de mis días una trayectoria inolvidable durante el posgrado. Agradezco a la vida que me permitió conocer a estas personitas increíbles, Manuel, Lupita, Christian, Kevin, Tranquilino, Gabriel y Eliza.

A toda mi familia y amigos de licenciatura,

Mis tías que siempre me motivan a ser mejor, Yola y Marlyn; mi tío Luis por motivarme a crecer profesionalmente; mis amigos Oscar, Laura, Diego, Hugo, Xoch y Nelson por sus palabras de aliento en los momentos oportunos.

A mi amor,

Por su cariño, motivación y apoyo, porque aún a la distancia siempre estuviste presente. Te quiero Saúl.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Carolina Rivera Cabello

Fecha de nacimiento: 23 de marzo de 1995

Lugar de nacimiento: Texcoco, Estado de México

CURP: RICC950323MMCVBR07

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia

Cédula profesional: 11493149

Desarrollo académico

Bachillerato: 2011-2014 Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura: 2014-2018 Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo

Maestría: 2020-2021 Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

FERTILIZACIÓN DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

Debido al uso excesivo de fertilizantes, la aplicación de fertilizantes de liberación controlada (FLC) es una tecnología que permite mejorar la eficiencia de su uso y aminorar los daños ambientales. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dosis de FLC en el crecimiento y desarrollo de plantas y producción de tomate de cáscara, en comparación con fertilización convencional en hidroponía. El experimento se llevó a cabo en invernadero y a campo abierto en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En el ciclo otoño-invierno 2020 en invernadero, se evaluaron seis tratamientos, cuatro de diferentes dosis de FLC y dos con soluciones nutritivas hidropónicas. La fertilización con la solución nutritiva propuesta (SNP) y la solución Steiner al 100 % generaron plantas de mayor altura, con más hojas y mayor número de brotes basales. La solución Steiner y 50 % de FLC presentaron los mejores rendimientos. El tratamiento que se aproximó más a los resultados obtenidos con alguna solución nutritiva fue la dosis de 100 % FLC. Los mejores rendimientos, crecimiento y desarrollo de plantas se obtuvieron con las soluciones hidropónicas aplicadas. En el ciclo primavera-verano 2021 a campo abierto se evaluaron diferentes dosis de FLC solos o acompañados de fertilización complementaria (FC), en comparación con fertilizantes convencionales hidropónicos. Los tratamientos con FLC solos o acompañados con FC generaron resultados similares a los de la SNP en altura de planta, número de hojas, botones florales, flores y bolsas. El rendimiento total fue semejante entre los tratamientos con FLC y la SNP. La solución Steiner tuvo el menor efecto en las variables evaluadas. Es posible obtener resultados similares con relación a crecimiento y desarrollo de plantas y producción de frutos con FLC, en comparación con soluciones nutritivas.

Palabras clave: absorción de nutrientes, Multicote®, nutrición vegetal, eficiencia en el uso de fertilizantes, hidroponía.

¹ Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Ing. Carolina Rivera Cabello

Director de Tesis: Dr. Aureliano Peña Lomelí

GENERAL SUMMARY

CONTROLLED-RELEASE FERTILIZATION IN HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

Due to the excessive use of fertilizers, the application of controlled-release fertilizers (CRF) is a technology that allows improving the efficiency of its use and reducing environmental damage. The aim of this study was to evaluate the effect of CRF doses on plant growth and development and production of husk tomato, compared to conventional fertilization in hydroponics. The experiment was conducted in greenhouse and open field in a random complete block design with four replications. In the autumn-winter 2020 greenhouse cycle, six treatments were evaluated, four of different CRF doses and two with hydroponic nutrient solutions. Fertilization with the proposed nutrient solution (PNS) and the 100 % Steiner solution generated plants of higher height, with more leaves and a greater number of basal shoots. The Steiner solution and 50 % CRF had the best yields. The treatment that came closest to the results obtained with some nutrient solution was the 100 % CRF dose. The best yields, growth, and development of plants were obtained with the applied hydroponic solutions. In the spring-summer 2021 open-field cycle different CRF doses alone or accompanied by complementary fertilization (CF) compared with conventional hydroponic fertilizers were evaluated. Treatments with CRF alone or accompanied with CF generated results like those of the PNS in plant height, number of leaves, flower buds, flowers, and bags. The total yield was similar between CRF and PNS treatments. The Steiner solution had the least effect on the variables evaluated. Similar results can be obtained for plant growth and development and fruit production with CRF, compared to nutrient solutions.

Keywords: nutrient uptake, Multicote®, plant nutrition, fertilizer efficiency, hydroponics.

² Thesis, MSc in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Ing. Carolina Rivera Cabello
Advisor: Dr. Aureliano Peña Lomelí

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El tomate de cáscara ocupa el quinto lugar en superficie sembrada con cultivos olerícolas en México (Cobaleda et al., 2013; SINAREFI, 2016). Se cultiva en 28 estados de la República Mexicana durante todo el año. En el año agrícola 2020 se sembraron 31,357 hectáreas bajo condiciones de riego y 8,760 hectáreas en temporal. En 2020 la producción nacional fue de 766,515 toneladas. Los principales estados productores son Sinaloa, Zacatecas, Jalisco, Puebla, Michoacán, Sonora, Estado de México, Nayarit, Guanajuato y Morelos. El 47.6 % de la producción se concentra en Sinaloa, Jalisco y Zacatecas (SIAP, 2020).

Debido al panorama agroalimentario del tomate de cáscara, la cantidad producida a nivel nacional requiere de una gran cantidad de fertilizantes. Aunado a ello, los productores han hecho uso desmedido de los fertilizantes convencionales, lo que ha contribuido a la contaminación del medio ambiente y la degradación de suelos agrícolas (Paredes, 2014).

Con la creciente preocupación por la salud humana, la protección del ambiente y la sostenibilidad de los recursos naturales, se requieren tecnologías que permitan el desarrollo de fertilizantes respetuosos con el ambiente. En los últimos años, investigadores, en conjunto con la industria de fertilizantes, han desarrollado los fertilizantes de liberación controlada (FLC) para dar solución a este problema a nivel mundial (Ibrahim & Jibril, 2005). Mediante el uso de este tipo de fertilizantes, los nutrimentos son liberados al suelo en cierto plazo (dato que es proporcionado por la empresa manufacturera) y proporcionan los nutrientes adecuados para la producción de cultivos (Du et al., 2006; Ni et al., 2010).

En comparación con los fertilizantes convencionales, los de liberación controlada son menos solubles en el agua, lo que permite una paulatina liberación de nutrimentos en el suelo. Por lo tanto, reducen la pérdida de nutrimentos y aumentan la eficiencia de nutrientes con un solo momento de la aplicación de fertilizantes. La eficiencia de este tipo de fertilizantes es, a largo

plazo, estable y proporciona continuamente nutrimentos durante todo el período de crecimiento. Debido a la naturaleza de su liberación, la aplicación de una gran cantidad de fertilizante no dará lugar a un exceso de sales en el suelo, por lo que no representa un riesgo para las raíces de las plantas. Además, permite reducir los costos de producción (Arrobas et al., 2011; Shaviv, 2005; Zhao et al., 2010).

Los beneficios que ofrecen los fertilizantes de liberación controlada para la producción de cultivos son los siguientes: 1) el tiempo de liberación no se ve afectado por el tipo de sustrato, pH, microorganismos o tecnología de riego, 2) la liberación inicia después de 1-2 semanas, lo que garantiza que no haya toxicidad por exceso de sales, 3) el recubrimiento de polímeros reduce el daño mecánico cuando se mezcla con algún sustrato, 4) permite reducir la dosis de aplicación gracias a que mejora la eficiencia del uso de nutrientes y 5) ahorro de tiempo y trabajo ya que requiere menos mano de obra (Haifa Group, 2014).

El uso de los fertilizantes de liberación controlada tiene limitantes, como 1) falta de métodos estandarizados para determinar el patrón de liberación de nutrientes, 2) el polímero utilizado en el recubrimiento puede dejar residuos indeseables de material sintético en los campos, 3) el costo de fabricación de un revestimiento o encapsulado es considerablemente mayor en comparación con la producción de fertilizantes minerales convencionales, por lo que la relación costo-beneficio impide su uso generalizado y 4) existe desconocimiento y poco asesoramiento por parte de ingenieros agrónomos hacia productores en el uso de esta tecnología (Paredes, 2014).

A pesar de las limitantes en el uso de fertilizantes de liberación controlada, se han realizado investigaciones en plantaciones de vid (De la Cruz, 2019), banano (Salvador, 2014) y jitomate (Kinoshita et al., 2014) donde se comparó el efecto de fertilizantes convencionales y de liberación controlada y se encontró que, en muchos aspectos, los FLC tuvieron mejores resultados. El desconocimiento del uso de este tipo de fertilizantes ha limitado su expansión en producciones a gran escala. Sin embargo, se han demostrado los beneficios económicos, productivos y ambientales.

En vista de todos los beneficios que ofrecen los fertilizantes de liberación controlada y del panorama de producción nacional en tomate de cáscara, la presente investigación se realiza con la finalidad de evaluar el efecto de la aplicación de este tipo de fertilizantes en el crecimiento y desarrollo de plantas y producción de frutos en invernadero y a campo abierto, en comparación con fertilización convencional en suelo e hidroponía.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes de liberación controlada en el crecimiento y desarrollo de plantas, y producción de tomate de cáscara, en comparación con fertilización convencional en suelo e hidroponía.

2.2. Objetivos particulares

Comparar el desarrollo fenológico de plantas de tomate de cáscara con fertilización convencional y con fertilización de liberación controlada.

Evaluar el rendimiento y calidad que se puede obtener mediante la fertilización de liberación controlada.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Aspectos generales del tomate de cáscara

3.1.1. Origen y distribución

El tomate verde, conocido comúnmente como tomatillo, tomate de cáscara o tomate de hoja, tiene su centro de origen y diversificación en México, ya que se conocen más de 50 especies del género *Physalis*. Es una hortaliza cuyo uso más popular es el alimenticio (D'Arcy, 1991). La especie de mayor importancia comercial que se produce a nivel nacional es *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm. (Peña & Márquez, 1990).

El género *Physalis* incluye entre 75 a 90 especies aproximadamente a nivel mundial, las cuales se distribuyen principalmente en Estados Unidos, México, Centroamérica, Sudamérica y las Antillas (Whitson & Manos, 2005). El tomate de cáscara se cultiva tanto en zonas tropicales como subtropicales del mundo (Small, 2012). En la República Mexicana, el tomate de cáscara se cultiva en todos los ambientes, lo que permite una gran variabilidad genética (Santiguillo et al., 2010).

3.1.2. Importancia del tomate de cáscara a nivel nacional

En México, el tomate de cáscara es la quinta hortaliza más producida (SINAREFI, 2016). En el año agrícola 2020 se sembraron 31,104 hectáreas bajo condiciones de riego con un rendimiento promedio de 20.88 t·ha⁻¹, y 8,760 hectáreas en temporal, donde se obtuvieron 15.26 t·ha⁻¹ en promedio (SIAP, 2020).

El cultivo se produce en diversas regiones del país, desde las regiones costeras del noroeste que se localizan a nivel del mar, donde la siembra es en verano-otoño-primavera, hasta zonas con altitudes que superan los 1200 msnm, donde se cultiva bajo condiciones de temporal en verano (Peña-Lomelí, 2014).

En 2019 la producción nacional fue de 830,274 toneladas. Los 10 principales estados productores fueron Sinaloa, Zacatecas, Jalisco, Puebla, Michoacán, Sonora, México, Nayarit, Guanajuato y Morelos. El consumo anual *per capita* de tomate de cáscara es de 5.3 kg. Sinaloa es el principal productor de tomate de cáscara con una participación del 28.5 % del total de la producción, seguido de Jalisco (12.5 %) y Zacatecas (6.6 %). Con relación a la participación en la producción nacional de hortalizas, el tomate de cáscara representa el 5.3 %. En las exportaciones hortícolas, Estados Unidos es el principal destino comercial, con la compra de 164,349 toneladas de tomate de cáscara (SIAP, 2020).

Se dispone de 23 variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales, de las cuales 16 están a nombre de la Universidad Autónoma Chapingo: 'CHF1 Chapingo', 'Manzano Tepetlixpa', 'Diamante', 'Potrero', 'Milpero Tetela', 'Gabriela', 'Salamanca', 'Puebla SM3', 'Tamazula SM3', 'Tecoautla', 'Yema de Huevo', 'Gema', 'Jade TFG', 'Dselecto', 'Ámbar' y 'Zafiro MSM' (SNICS, 2022).

3.2. Características botánicas y agronómicas del tomate de cáscara

3.2.1. Taxonomía y descripción botánica

En México, la especie cultivada es *Physalis ixocarpa*. Sin embargo, pese a su distribución por el país, sus usos conocidos y variedades, existe cierta controversia al momento de su clasificación. Según el ITIS (Integrated Taxonomic Information System) (2021), la especie que está aceptada es *Physalis philadelphica*, mientras que *Physalis ixocarpa* Brot. es un sinónimo de dicha especie. No obstante, este nombre es más antiguo que *P. philadelphica* y fue primeramente clasificado por Hormen, por lo que el nombre correcto es *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm. De acuerdo con Santiaguillo et al. (2010) la clasificación taxonómica del tomate de cáscara es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Physalis*

Especie: *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.

Es una planta herbácea, anual, que puede medir de 40 a 120 cm de altura o más, dependiendo el hábito de crecimiento.

La raíz es típica, columnar y presenta ramificaciones secundarias que pueden llegar a penetrar hasta 60 cm de profundidad en el suelo. En sistemas de plantación, se transforma en una raíz fibrosa que debilita su fuerza de penetración al suelo (Peña & Márquez, 1990).

Existen tres tipos de hábito de crecimiento. El hábito rastrero se caracteriza por un crecimiento erecto hasta que alcanza los 40 cm, posteriormente la planta crece en mayor proporción de forma horizontal ya que los tallos se extienden sobre la superficie del suelo. En una planta de hábito erecto, el crecimiento de los tallos es casi vertical. Las variedades nuevas, la gran mayoría son de hábito semierecto y requieren de tutoréo para evitar que los tallos se doblen (Pérez et al., 1998).

El tallo es herbáceo o ligeramente leñoso en la base, presenta ramificación dicotómica, cilíndrico y liso, puede presentar pubescencia, al igual que ramas y hojas, pero esta condición desaparece a medida que la planta crece (Pérez et al., 1998).

Las hojas son ovadas, alternas, con forma puntiaguda en el ápice y en forma de cuña en la base, pueden tener márgenes enteros, acerrados o dentados, con pecíolo de 4 a 6.5 cm de largo (Saray et al., 1982).

Las flores son hermafroditas y brotan de manera individual de las axilas de las hojas, presentan cáliz verde de cinco dientes (Peña & Márquez, 1990). Los pétalos son amarillos. La flor es pedicelada y pequeña, aproximadamente de 0.8 a 3.2 cm de largo, dependiendo la variedad (Duarte & Paull, 2015). Durante la floración, el cáliz se agranda para cubrir el fruto, además de proteger al fruto de plagas, enfermedades, aves y condiciones climáticas extremas como granizadas o cambios de temperatura (Cruz-Álvarez et al., 2012).

El fruto es una baya, esférica u ovoide; su tamaño varía de 1 a 6 cm de diámetro, de sabor ácido o dulce, rodeado por el cáliz. Los frutos maduros pueden presentar diversos colores: verde, amarillo, morado o anaranjado brillante (Gollapudi & Motohashi, 2013). El cáliz mide de 1.8 a 4.3 cm de largo por 2.5 a 6 cm de ancho, presenta costillas marcadas que en algunas variedades son de color morado; presentan peciolo que pueden medir de 0.6 a 1.0 cm de largo (Peña & Márquez, 1990).

3.2.2. Fisiología

El ciclo de vida del tomate de cáscara es corto, de 70 a 110 días desde la germinación hasta la senescencia dependiendo de la variedad. Al principio, la plántula tiene un crecimiento lento, posteriormente a los 25 días el crecimiento se acelera de manera considerable y aproximadamente a los 55 días se estabiliza y puede alcanzar una altura de 90 cm (plantas de hábito erecto) o de 60 cm (plantas rastreras). Posterior a ello, el crecimiento continúa lentamente hasta alcanzar más de 1 m de altura, luego comienzan a observarse coloraciones amarillentas características de la senescencia y la planta envejece rápidamente (Mulato, 1984).

La diferenciación floral se lleva a cabo entre los 17 y 20 días después del trasplante (ddt), las primeras flores aparecen entre los 28 y 30 días, al principio el número de flores por planta es pequeño, pero después la producción de

éstas incrementa considerablemente. Posterior a los 52 ddt disminuye el número de flores. Del total de flores, sólo el 40 % aproximadamente son polinizadas e inician la elongación del cáliz y ovario, pero únicamente entre el 28 a 30 % logra desarrollarse hasta la cosecha. La floración es continua hasta que la planta finalmente muere (Cartujano, 1984).

El tomate de cáscara presenta autoincompatibilidad producida por dos series alélicas y es infértil cuando uno o más alelos están en estado homocigote, lo que la convierte en alógama obligada que depende de la polinización cruzada realizada por insectos, principalmente por abejas (Pandey, 1957).

Las flores abren antes que ocurra la dehiscencia de las anteras entre las ocho y las doce horas del día. Las anteras no abren de manera uniforme, sino que pasan de dos a cuatro días entre la dehiscencia de la primera y la quinta antera. Después de que las anteras han liberado el polen, las estructuras florales se encorvan y comienzan a marchitar, hasta que finalmente caen (Pérez et al., 1998; Verdejo, 1987).

Posterior a la fecundación, el cáliz comienza a alargarse y envolver al ovario que crece en su interior. Al principio, el cáliz crece más rápido que el ovario, sin embargo, en la mayoría de las variedades cultivadas el fruto llena el cáliz e incluso llega a romper la bolsa formada por el cáliz desarrollado, lo que deja una parte del fruto expuesta (Saray & Loya, 1977). El desarrollo de los frutos, conocido comúnmente como “cuajado”, inicia a los 35 días después de la siembra y a los 42 días se inicia el crecimiento del cáliz. Del cuajado de los frutos a la maduración transcurren de 40 a 42 días.

3.2.3. Aspectos fitosanitarios

Se requiere un constante monitoreo de plagas y enfermedades ya que afectan de manera significativa la calidad del fruto y rendimiento, además de elevar los costos de producción que reducen la rentabilidad del cultivo (Apodaca-Sánchez, 2005).

Plagas

El tomate de cáscara es afectado por diversos agentes bióticos, entre los que destacan insectos del tipo coleóptero (Torres-Pacheco et al., 1996). Entre las principales especies se encuentran la pulga saltona (*Epitrix* sp.), el gusano del fruto (*Heliothis subflexa*) y el pulgón (*Myzus persicae*). Aguilar (1993) menciona que los trips de las flores (*Franklinella occidentalis*) y el ácaro bronceado del tomate (*Aculops lycopersici*) actúan como plagas del tomate de cáscara en el estado de San Luis Potosí. En la zona de Chapingo, México, Jiménez-Gómez et al. (1992) encontraron especies asociadas con el cultivo, entre los que destacan el picudo del tomate de cáscara (*Trichobaris championi*), mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*), el frailecillo (*Macrodactylus* sp.), minador (*Liriomiza* sp.), salerillo o paratrioza (*Bactericera cockerelli*), la catarinita (*Lema trilineata daturaphila*) y la diabrotica o doradilla (*Diabrotica undecimpunctata*). Morales-Galván et al. (2002) mencionaron al barrenador del tallo de tomate de cáscara conocido como “arrocillo” (*Melanagromyza tomaterae*) en los estados de México y Morelos y el picudo del toloache (*Trichobaris* sp.). La distribución de los insectos plaga antes mencionados abarca localidades de los estados de Hidalgo, México, Morelos, Puebla y Tlaxcala (Bautista & Morales, 2000; Palacios-Torres et al., 2010).

El manejo del cultivo, en especial de los insectos vectores, deberá ser realizado bajo la asesoría de un profesional, con la finalidad de obtener mejores niveles de control y proteger a los organismos benéficos. Así mismo, un adecuado manejo de las malezas disminuirá la población de insectos plaga (González-Maldonado & García-Gutiérrez, 2012).

Enfermedades

Las enfermedades también pueden limitar la productividad del tomate de cáscara. Dentro de aquellas que afectan el follaje, la cenicilla (*Oidium* sp.) es la más importante, seguida de la mancha foliar (*Cercospora physalidis*) y el carbón blanco (*Entyloma australe*). Las enfermedades causadas por virus y hongos han adquirido mayor importancia en los últimos años en este cultivo,

puesto que son capaces de ocasionar pérdidas de hasta un 70 % si no se controlan a tiempo. A pesar de ser controlables, son un problema muy serio para los productores, debido a la gran cantidad de dinero que se invierte para su control, que de no realizarse a tiempo origina fuertes pérdidas en el cultivo (Piña & Ponce, 1990).

Las enfermedades fungosas se pueden manejar mediante la aplicación oportuna de fungicidas de contacto o sistémicos ya que pueden ser una limitante a la producción y reducir la calidad del fruto (Martínez et al., 2004).

Las enfermedades virosas son causadas por diferentes virus como: Virus del Jaspeado del Tabaco (TEV), Virus del Mosaico de la Alfalfa (AMV), Virus del Mosaico del Tabaco (TMV), Virus del Mosaico del Pepino (CMV), Virus de la Marchitez Manchada del Tomate (TSWV), geminivirus transmitidos por mosquita blanca (begomovirus), entre otros. Las enfermedades virosas constituyen un factor limitante en la producción de tomate de cáscara, con pérdidas frecuentes que alcanzan hasta el 100 %. Para el control de este tipo de enfermedades se lleva a cabo el control químico, biológico o manejo integrado de los vectores y, a su vez, el control de malezas para evitar la presencia de plantas hospederas de insectos (Bautista, 2000).

La eliminación de plantas enfermas, evitar cosechar frutos dañados, el control de insectos vectores, eliminar posibles plantas hospederas y el manejo de fechas de siembra son mecanismos que pueden prevenir la incidencia de enfermedades (Martínez et al., 2004), ya que representan la principal causa de pérdida total de la producción, razón por la que muchos agricultores han dejado de sembrar tomate de cáscara (De la Torre et al., 2002).

3.3. Factores climáticos que influyen en la producción

3.3.1. Temperatura

La temperatura es un factor primario que afecta todas las etapas de desarrollo del cultivo desde crecimiento vegetativo, floración, amarre de frutos. Para un crecimiento óptimo se requiere un mínimo de 10 °C y máxima de 30 °C. La temperatura óptima promedio que demanda el tomate de cáscara al momento de sembrar es de 20 a 25 °C, durante el crecimiento vegetativo requiere de

22 a 26 °C, pero con temperaturas mayores de 32 °C puede provocar una deshidratación del tubo polínico y en consecuencia abortos y frutos mal formados (Montes De Oca, 2014).

3.3.2. Intensidad luminosa

La intensidad de la luz es también uno de los factores que afectan la cantidad de azúcares que se producen en las hojas durante la fotosíntesis, y esto incide en el número de frutos que la planta puede soportar, así como los rendimientos totales. Este elemento del clima promueve la apertura de estomas, estimulando la fotosíntesis, además ayuda en las relaciones hídricas de la planta, permitiendo la translocación de sales minerales y fotoasimilados. Es necesario una buena luminosidad para el buen desarrollo del cultivo. La radiación fotosintéticamente activa es mayor y de manera constante en campo abierto con un máximo de $2166 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Bajo las cubiertas de polietileno transparente dan resultados cercanos a los $1705 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Ramos-López et al., 2017).

3.3.3. Humedad

El exceso de humedad, así como la alta concentración de precipitación pluvial en épocas de lluvias, es un factor que influye en la aparición de enfermedades como hongos y bacterias que afectan la producción de tomate. Las etapas críticas son germinación, emergencia, trasplante y floración. Es necesario que el suelo tenga al menos 60 % de humedad de la capacidad de campo. En condiciones de sequía, el tomate adelanta la floración y acelera la maduración de frutos, lo que reduce el número y tamaño de fruto, y causa que algunos presenten sabor ácido (López-López et al., 2009).

3.4. Fertilización

En diversas investigaciones se ha intentado definir la mejor fórmula de fertilización para la producción de tomate de cáscara (Arroyo, 1999). La fertilización depende de la fertilidad del suelo. Para la producción de una tonelada de fruto de tomate de cáscara se requieren 3.71 kg de nitrógeno (Castro-Brindis et al., 2004). Existe una respuesta positiva en la producción cuando se aplican micronutrientes como zinc, magnesio y manganeso.

De manera general, las plantas contienen nutrimentos en diversas concentraciones, pero sólo 17 son esenciales para el crecimiento y desarrollo, principalmente nitrógeno, fósforo y potasio, considerados macronutrimentos. Calcio, magnesio y azufre son considerados nutrimentos secundarios y el resto son micronutrimentos (Romero, 1994). Peña (1994) indicó que el tratamiento 180-90-30 es adecuado para la producción de tomate de cáscara en suelos de tipo migajón limoso y que en suelos más pobres se debe aplicar mayor cantidad de fertilizante. Sin embargo, la dosis a emplear depende fundamentalmente del tipo de suelo donde se quiera producir.

Para las condiciones de Chapingo, Cruz (2001) mencionó que las fórmulas 160-80-80 o 160-40-00 son las mejores para producir tomate de cáscara a campo abierto, aplicando todo el fósforo y el potasio al momento del trasplante, así como 50 % de nitrógeno, y de éste último aplicar el restante 40 días después de la primera fertilización.

3.5. Eficiencia en el uso de fertilizantes de síntesis química o convencionales

Los fertilizantes son sustancias químicas que se añaden al suelo. Se clasifican en orgánicos o inorgánicos, naturales o sintéticos y simples o complejos, dependiendo de su origen y naturaleza (Timilsena et al., 2015). La disponibilidad de nutrimentos en el suelo determina la cantidad y calidad de la producción agrícola. Por lo tanto, el suministro de forma regular de nutrimentos, nitrógeno y fósforo, principalmente, es necesario para mantener la fertilidad de los suelos agrícolas y obtener mejores rendimientos (Amtmann & Armengaud, 2009).

El incremento poblacional ha hecho necesario que la producción de alimentos se incremente de manera sustancial, lo que conlleva un aumento en el uso de fertilizantes químicos (Timilsena et al., 2015). A pesar de permitir mayor productividad de los cultivos, su baja eficiencia de aprovechamiento provoca contaminación ambiental, además de afectar las comunidades microbianas benéficas que se encuentran en los suelos (Geisseler & Scow, 2014; Qin et al., 2015).

El conocimiento de la química y funcionalidad de los fertilizantes, su rol a nivel agrícola y los factores que afectan sus funciones está en continuo estudio. Recientes investigaciones se han centrado en evaluar el impacto de los fertilizantes químicos en la salud y el medio ambiente. Se encontró que las plantas sólo aprovechan una pequeña proporción del fertilizante aplicado al suelo. Además, la adición de fertilizantes muchas veces no toma en cuenta el suministro de nutrimentos por parte del suelo, por lo que la fertilización a menudo no concuerda con las necesidades de la planta (Trenkel, 2010; Shaviv, 2001).

El nitrógeno es uno de los nutrimentos más importantes para el crecimiento de las plantas, al formar parte de gran cantidad de compuestos químicos, por lo que se requieren en altas cantidades y se considera el principal factor limitante para la producción de los cultivos (Castilla, 2005; Lubkowski, 2016; Zarebska et al., 2015). Sin embargo, de los nutrimentos necesarios para las plantas, el nitrógeno es el más difícil de manejar, ya que la incorporación al suelo a través de los fertilizantes nitrogenados es ineficiente debido a la gran pérdida por lixiviación de nitratos (NO_3^-) que se movilizan rápidamente a aguas subterráneas y superficiales, o reacciona con el medio y se pierde por desnitrificación, y también se pierde por volatilización en forma de amoníaco (NH_3) hacia la atmósfera, provocando contaminación ambiental (Sattari et al., 2014).

De manera general, los fertilizantes nitrogenados son más susceptibles de perderse a través de procesos como son lixiviación, desnitrificación y mineralización. La lixiviación de nitratos incrementa por la cantidad y forma de aplicación de las láminas de riego (Dave et al., 1999).

Después del nitrógeno, el fósforo es el segundo nutrimento de mayor importancia para las plantas, y que con mayor frecuencia se encuentra de manera limitada en los suelos. Se absorbe principalmente como ión ortofosfato primario (H_2PO_4^-) y con menor rapidez como ion fosfato secundario (HPO_4^{2-}). Estas formas de absorción dependen esencialmente del pH del suelo, ya que el H_2PO_4^- se encuentra de manera abundante a un pH menor

de 7 y el HPO_4^{2-} se encuentra por encima de este valor (Salisbury & Ross, 1992).

La pérdida de fósforo se debe a la escorrentía superficial y la mineralización, lo que vuelve indisponible para las plantas dicho elemento (Timilsena et al., 2015). Además, es un nutrimento con baja tasa de recuperación y de disponibilidad limitada (Sattari et al., 2014). El uso indebido de fertilizantes fosforados podría agravar otros problemas tales como la degradación de suelos y la contaminación del agua para consumo humano y para el riego (Baligar et al., 2001; Fixen et al., 2015).

Existe una situación similar para el potasio, ya que queda fijado por los coloides del suelo y forma diferentes compuestos minerales y orgánicos, lo que lo vuelve indisponible para las plantas. Del total de potasio en el suelo, cerca del 0.1-2 % se encuentra en la solución como ion K^+ . Es decir, la planta puede absorberlo de manera inmediata. Sin embargo, esta forma asimilable se pierde principalmente por lixiviación y escorrentía superficial; aproximadamente del 1-2 % se encuentra en forma intercambiable pero lentamente disponible para las plantas; entre el 1-10 % se encuentra fijado en los coloides o no intercambiable y lo convierte en potasio muy lentamente disponible; entre el 93-98 % forma parte de compuestos minerales, es decir potasio estructural que está en forma no disponible para las plantas (Mengel & Kirkby, 1980).

Con relación a lo antes mencionado, del total de fertilizantes convencionales aplicados al suelo, alrededor del 40-70 % de nitrógeno, el 80-90 % de fósforo, el 10-30 % de potasio y el 50-70 % del total de fertilizantes se pierden por diversos procesos. Estos niveles de pérdida de nutrientes no solo implican mermas económicas sino también una gran contaminación al ambiente (Baligar & Bennett, 1986; Dave et al., 1999; Trenkel, 2010; Wu et al., 2008). Por esto, adoptar nuevas tecnologías como el uso de fertilizantes de liberación controlada representan una alternativa al uso de fertilizantes convencionales para reducir las pérdidas económicas y daños ambientales (Rose et al., 2004).

En la actualidad, los científicos agrícolas enfrentan varios retos para la producción de alimentos, tales como baja eficiencia en el uso de fertilizantes, rendimientos estancados, erosión y disminución del contenido de materia orgánica en el suelo, cambio climático, disminución de la superficie agrícola, baja disponibilidad de agua para riego y escasez de mano de obra. A pesar de este panorama, debe mantenerse la producción continua de alimentos para cubrir la demanda a nivel global (Cotler et al., 2020).

Es por esto la industria de fertilizantes ha realizado diversas investigaciones y avances para mejorar la tecnología de éstos, con el principal objetivo de mejorar la eficiencia de su uso y aminorar los daños ambientales ocasionados por el uso desmedido de fertilizantes convencionales (Klock-Moore & Broschat, 1999).

3.6. Fertilizantes de liberación controlada

Para que un fertilizante sea considerado ideal debe tener al menos tres características: 1) que se aplique una única vez a lo largo del ciclo de cultivo de interés, 2) producción de calidad y 3) que generen el mínimo de efectos perjudiciales al medio ambiente; es por esto que la industria de los fertilizantes ha desarrollado tecnologías que cubran estas características (Shavit et al., 2003).

La tecnología de liberación controlada de fertilizantes ha sido empleada mayoritariamente en viveros forestales. Los fertilizantes de liberación controlada (FLC), conocidos también como CRF (por sus siglas en inglés), se basan en la tecnología de recubrimiento con polímeros que permiten la liberación paulatina de nutrimentos hacia las raíces (Escamilla-Hernández et al., 2015).

El fertilizante de liberación controlada también se conoce como fertilizante de liberación retardada, fertilizante de disponibilidad controlada, fertilizante recubierto (Oertli & Lunt, 1962) o fertilizante de acción lenta (Gregorich et al., 2001). Debido a la naturaleza de liberación de este tipo de fertilizantes, se han confundido con los fertilizantes de lenta liberación (FLL) también conocidos como SRF (por sus siglas en inglés). Sin embargo, en los FLC los factores

que rigen la liberación de los nutrientes, la duración y el patrón de liberación son controlables y conocidos durante la preparación de este tipo de fertilizante, mientras que en los FLL la tasa de liberación es más lenta y el patrón y duración de liberación no son controlables. Además, éstos dependen totalmente de la acción microbiana del suelo (Rajan et al., 2021).

Un fertilizante de liberación controlada es una partícula de forma esférica que contiene todos los nutrientes necesarios para cubrir los requerimientos de las plantas para su crecimiento y desarrollo; la cual está cubierta por polímeros permeables al agua que permiten el flujo de nutrientes de manera paulatina bajo la influencia del calor y del agua, primero fluyen hacia el suelo y posteriormente son absorbidos por las raíces. El objetivo principal de los fertilizantes de liberación controlada es la liberación y disponibilidad de nutrientes a una tasa que coincida con la demanda de las plantas y así poder evitar pérdidas. Como consecuencia, esto implica una mejor eficiencia en su uso, ya que optimiza la calidad de la planta, disminuye la frecuencia de fertilización, reduce las pérdidas por lixiviación y aminora la contaminación ambiental (Rose et al., 2004).

Los fertilizantes de liberación controlada son productos que, debido a la naturaleza de liberación, precisan de una sola aplicación a lo largo de todo el ciclo del cultivo ya que los polímeros se hinchan al absorber agua y liberan poco a poco los nutrientes para que la planta los aproveche (Colina et al., 2017). Debe considerarse la tasa de duración de este tipo de fertilizantes, dato que se obtiene con los fabricantes y normalmente va de 3 a 18 meses. Esta información fue determinada bajo condiciones de laboratorio con una temperatura aproximada de 21 °C. Bajo condiciones a campo abierto o en contenedores, donde la temperatura rebasa dicho valor, este comportamiento podría ser variable entre los distintos tipos de FLC, ya que a mayor temperatura se acelera la liberación y disminuye el tiempo de liberación. Donde la temperatura sea menor a 10 °C no hay liberación de nutrientes o se ralentiza, por lo que las condiciones en las que se producen los cultivos pueden propiciar una tasa de duración y liberación más desuniforme (Lamont et al., 1987).

La disponibilidad de nutrientes en el suelo influye en el mecanismo de liberación de los nutrientes de los fertilizantes. Diversos autores (Azeem et al., 2014; Irfan et al., 2018; Trenkel, 2010; Versino et al., 2019; Zhao et al., 2010) reportan que los fertilizantes con algún tipo de recubrimiento pasan por un proceso de liberación de nutrientes conocido como “mecanismo de difusión” que consiste en penetración del agua dentro del revestimiento del polímero, hinchazón del gránulo debido a la absorción de agua, disolución parcial de nutrientes del fertilizante dentro del polímero, liberación gradual de nutrientes por difusión, influenciado por un gradiente de concentración o gradiente de presión o una combinación de ambas, fuera de la matriz polimérica.

La tasa de difusión de los nutrientes desde el polímero hacia el suelo depende de la solubilidad y disponibilidad del nutriente en el suelo, esto quiere decir que la concentración entre ambos medios, el suelo y el núcleo del FLC, delimita la velocidad a la que se liberan los nutrientes. Cuando los nutrientes presentes en el suelo de forma natural no están disponibles para las plantas, es decir que no son fácilmente solubles, se favorece y aumenta la liberación de los nutrientes del fertilizante de liberación controlada (Ganetri et al., 2021).

El uso de fertilizantes de liberación controlada ofrece ventajas tales como una disminución de la toxicidad en plántulas, que es causada por las altas concentraciones iónicas debido a la rápida disolución de fertilizantes convencionales, por lo que el manejo agronómico se vuelve más seguro (Trenkel, 1997). Debido a la liberación gradual de nutrientes, se permiten aplicaciones de grandes cantidades de fertilizante lo que representa un ahorro significativo de mano de obra, tiempo y energía (Paredes, 2014). Permite disponer sistemas de producción innovadores con una única aplicación de fertilizante. No interfiere con el sistema de riego que se emplee. Reduce significativamente las pérdidas de nutrientes ocasionados por lixiviación, volatilización o mineralización en el caso de nitrógeno y por escorrentía en el caso de fósforo, gracias a la liberación paulatina de nutrientes. Al reducir la

pérdida de nutrientes, contribuye a la disminución de la contaminación ambiental (Mikkelsen, 1994).

Los fertilizantes de liberación controlada ofrecen grandes beneficios ambientales, económicos y productivos. Sin embargo, existen ciertas limitantes por las cuales el uso de este tipo de fertilizante no ha sido elegido por la mayoría de productores, tales como que no hay métodos estandarizados que determinen un patrón fiable de liberación de nutrientes. Si bien existen los datos obtenidos en ensayos de laboratorio, el funcionamiento real del patrón de liberación de nutrientes en condiciones de campo es muy diferente. Ciertos revestimientos con polímeros o resinas pueden dejar residuos de material sintético en los campos, algunos se descomponen muy lentamente, lo cual conduciría a una acumulación indeseable de residuos plásticos. En un esquema de producción de agricultura intensiva, la dosis de N está en constante ajuste ya que se modifica con base en el desarrollo del cultivo y las metas de rendimiento, por lo que la práctica de una sola aplicación de un FLC sería incompatible en dicho esquema y la dosis inicialmente aplicada no podría ser corregida, además de que los productores optan por continuar usando fertilizantes convencionales. El costo de fabricación del encapsulado o revestimiento de los FLC es mayor en comparación con la producción de fertilizantes convencionales, por lo que la relación costo-beneficio ha impedido el uso generalizado de este tipo de fertilizantes. Requieren asesoramiento especializado para su uso, que implica un costo mayor en su comercialización (Paredes, 2014).

3.7. LITERATURA CITADA

- Aguilar, C.L. (1993). *Identificación de insectos plaga en el cultivo de tomate de cáscara Physalis ixocarpa Brot. en los municipios de Villa de Arista y Venado, SLP*. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo.
- Amtmann, A., & Armengaud, P. (2009). Effects of N, P, K and S on metabolism: new knowledge gained from multi-level analysis. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 275-283. doi: 10.1016/j.pbi.2009.04.014
- Apodaca-Sánchez, M. A. (2005). *Enfermedades del tallo y de la raíz del tomate de cáscara. Tecnoagro*, 3, 23-26.

- Arrobas, M., Parada, M. J., Magalhaes, P., & Rodrigues, M. Â. (2011). Nitrogen-use efficiency and economic efficiency of slow-release N fertilisers applied to irrigated turfs in a Mediterranean environment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 89(3), 329-339. doi: 10.1007/s10705-010-9397-x
- Arroyo, P. J. (1999). *Fertilización en el tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.), con base en el análisis de suelos*. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo.
- Azeem, B., KuShaari, K., Man, Z. B., Basit, A., & Thanh, T. H. (2014). Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *Journal of Controlled Release*, 181, 11-21. doi: 10.1016/j.jconrel.2014.02.020
- Baligar, V. C., & Bennett, O. L. (1986). NPK-fertilizer efficiency—a situation analysis for the tropics. *Fertilizer research*, 10(2), 147-164. doi: 10.1007/BF01074369
- Baligar, V. C., Fageria, N. K., & He, Z. L. (2001). Nutrient use efficiency in plants. *Communications in soil science and plant analysis*, 32(7-8), 921-950. doi: 10.1081/CSS-100104098
- Bautista, M. (2000). Temas Selectos en Fitosanidad y producción de Hortalizas. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados.
- Bautista, N., & Morales, O. (2000). Melanagromyza tomaterae Steyskal (Díptera: Agromyzidae) plaga del tomate (*Physalis ixocarpa* Brot.) en México. *Folia Entomología Mexicana*, 110, 129-130.
- Cartujano, E. F. (1984). *Desarrollo y fenología del tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.) var. Rendidora*. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo.
- Castilla, L. (2005). Evaluación de líneas interespecíficas de arroz (*Oryza* spp.) a la inoculación con las bacterias fijadoras de nitrógeno *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum amazonense* en un typic haplustalf de la meseta de Ibagué. Universidad Nacional de Colombia.
- Castro-Brindis, R., Galvis-Spínola, A., Sánchez-García, P., Peña-Lomelí, A., Sandoval-Villa, M., & Alcantar-González, G. (2004). Demanda de Nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10 (2), 147-152.
- Cobaleda, V. M., Reyes, M. A., Barriada, B. G., Medina, M. J. R., Torres, R., Delgado, A. E. A., Alanis, B. R. E., & Almaraz, A. N. (2013). Una mirada general al tomate de cáscara (*Physalis*). *Revista Vidsupra*, 5(2), 90-99.
- Colina, E., Castro, C., Sánchez, H., & Troya, G. (2017). Evaluación de fertilizantes de liberación controlada con fertilización convencional, sobre el rendimiento de maíz duro (*Zea mays*) en la zona de Febres-Cordero, Provincia de los Ríos. *Revista Alfa*, 1(3), 88-97. doi: 10.33996/revistaalfa.v1i3.30

- Cotler, H., Corona, J. A., & Galeana-Pizaña, J. M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones geográficas*, 101. 2448-7279. doi: 10.14350/rig.59976
- Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, M.T., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M. T., & Moreno-Pérez, E. C. (2012). Postharvest conservation of husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot. ex. Horm.) with and without calyx. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18, 333–344. doi: 10.5154/r.rchsh.2010.11.105.
- Cruz, L. B., Carballo, C. A., Castillo, G. F., Estrada, G. J. A., & Peña, L. A. (2001). Fertilización y manejo de cosecha en la producción de fruto y semilla de tomate de cáscara. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- D'Arcy, W. G. (1991). The Solanaceae since 1976, with a review of its biogeography. In J.G. Hawkes, R. N. Lester, M. Nee, & N. Estrada (Eds.), *Solanaceae III: Taxonomy, chemistry, evolution* (pp. 75-138). Kew Royal Botanic Gardens.
- Dave, A. M., Mehta, M. H., Aminabhavi, T. M., Kulkarni, A. R., & Soppimath, K. S. (1999). A review on controlled release of nitrogen fertilizers through polymeric membrane devices. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 38(4), 675-711. doi: 10.1080/03602559909351607
- De la Cruz, H. E. A. (2019). *Propagación del patrón Salt Creek (Vitis sp), con fertilización controlada y simple en la región Ica*. Universidad José Carlos Mariátegui.
- De La Torre, A. R., Valverde, J. R., Méndez, L., Ascencio, I. J. T., & Rivera, B. R. F. (2002). Caracterización preliminar de geminivirus en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* B.) en la Región Centro de México. *Agrociencia*, 36(4), 471-481.
- Du, C. W., Zhou, J. M., & Shaviv, A. (2006). Release characteristics of nutrients from polymer-coated compound controlled release fertilizers. *Journal of Polymers and the Environment*, 14(3), 223-230. doi: 10.1007/s10924-006-0025-4
- Duarte, O., & Paull, R.E. (2015). *Exotic Fruits and Nuts of the New World*. CABI.
- Escamilla-Hernández, N., Obrador-Olán, J. J., Carrillo-Ávila, E. & Palma-López, D. J. (2015). Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de teca (*Tectona grandis*), en la etapa de vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 329-333.
- Fixen, P., Brentrup, F., Bruulsema, T., Garcia, F., Norton, R., & Zingore, S. (2015). Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. In P. Drechsel, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen, & D. Wichelns (Eds). *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification* (270 p.). FA, IWMI, IPNI, IPI.
- Ganetri, I., Essamlali, Y., Amadine, O., Danoun, K., Aboulhrouz, S., & Zahouily, M. (2021). Controlling factors of slow or controlled-release

- fertilizers. In *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture* (pp. 111-129). Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-819555-0.00007-8
- Geisseler, D., & Scow, K.M. (2014). Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms- A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 54-63. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.03.023
- Gollapudi, R., & Motohashi, N. (2013). *The health benefits of tomatillo berries. Occurrences, Structure, Biosynthesis, and Health Benefits Based on their Evidences of Medicinal Phytochemicals in Vegetables and Fruits*. Nova Science Publishers.
- González-Maldonado, M. B., & García-Gutiérrez, C. (2012). Uso de biorracionales para el control de plagas de hortalizas en el norte de Sinaloa. *Ra Ximhai*, 8(3), 31-45.
- Gregorich, E. G., Turchenek, L. W., Carter, M. R., & Angers, D. A. (2001). *Soil and environmental science dictionary*. CRC Press. doi: 10.14350/rig.59976
- Haifa Group. (2014). *Multicote Agri Fertilizantes de liberación controlada para la agricultura*. Manual. 28 p. Haifa Chemicals Ltd.
- Ibrahim, A. A., & Jibril, B. Y. (2005). Controlled release of paraffin wax/rosin-coated fertilizers. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(7), 2288-2291. doi: 10.1021/ie048853d
- Irfan, S. A., Razali, R., KuShaari, K., Mansor, N., Azeem, B., & Versypt, A. N. F. (2018). A review of mathematical modeling and simulation of controlled-release fertilizers. *Journal of Controlled Release*, 271, 45-54. doi: 10.1016/j.jconrel.2017.12.017
- ITIS (Integrated Taxonomic Information System). www.itis.gov (consultado 10 de Agosto de 2021).
- Jimenez-Gómez, R., Dominguez-Rivero, R., & Peña-Lomeli, A. (1992). *Plagas insectiles del tomate de cascara (Physalis ixocarpa Brot.) en Chapingo, Mexico*. Universidad Autonoma Chapingo.
- Kinoshita, T., Yano, T., Sugiura, M., & Nagasaki, Y. (2014). Effects of controlled-release fertilizer on leaf area index and fruit yield in high-density soilless tomato culture using low node-order pinching. *PloS One*, 9(11), e113074. doi: 10.1371/journal.pone.0113074
- Klock-Moore, K. A., & Broschat, T. K. (1999). Differences in bedding plant growth and nitrate loss with a controlled-release fertilizer and two irrigation systems. *HortTechnology*, 9(2), 206-209. doi: 10.21273/HORTECH.9.2.206
- Lamont, G. P., Worrall, R. J., & O'Connell, M. A. (1987). The effects of temperature and time on the solubility of resin-coated controlled-release fertilizers under laboratory and field conditions. *Scientia Horticulturae*, 32(3-4), 265-273. doi: 10.1016/0304-4238(87)90092-6

- López-López, R., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., López-Cruz, I. L., & Sánchez-Cohen, I. (2009). Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(1), 83-89.
- Lubkowski, K. (2016). Environmental impact of fertilizer use and slow release of mineral nutrients as a response to this challenge. *Polish Journal of Chemical Technology*, 18(1), 72-79. doi: 10.1515/pjct-2016-0012
- Martínez, S. J., Peña, L. A., & Montalvo, H. D. (2004). *Producción y Tecnología de Semilla de Tomate de Cáscara*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (1980). Potassium in crop production. *Advances in agronomy*, 33, 59-110. doi: 10.1016/S0065-2113(08)60164-9
- Mikkelsen, R. L. (1994). Using hydrophilic polymers to control nutrient release. *Fertilizer research*, 38(1), 53-59. doi: 10.1007/BF00750062
- Montes De Oca, C. M. (2014). *Manejo del cultivo de tomate de cáscara a cielo abierto en el estado de México*. México: Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal. 20p.
- Morales-Galván, O., Bautista-Martínez, N., Valdez-Carrasco, J., & Carrillo-Sánchez, J. L. (2002). Identificación, biología y descripción de *Melanagromyza tomaterae* Steyskal (Diptera: Agromyzidae), barrenador del tomate *Physalis ixocarpa* Brot. *Acta zoológica mexicana*, 86, 145-153.
- Mulato, B. J. (1984). *Desarrollo y fenología del tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.) variedad rendidora en la región de Zacatepec, Morelos. II Dinámica del desarrollo en base a los muestreos en pie e investigación del sistema radical*. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo.
- Ni, B., Liu, M., Lü, S., Xie, L., & Wang, Y. (2010). Multifunctional slow-release organic–inorganic compound fertilizer. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(23), 12373-12378. doi: 10.1021/jf1029306
- Oertli, J. J., & Lunt, O. R. (1962). Controlled release of fertilizer minerals by encapsulating membranes: I. Factors influencing the rate of release. *Soil Science Society of America Journal*, 26(6), 579-583. Doi:10.2136/sssaj1962.03615995002600060019x
- Palacios-Torres, R. E., Valdez-Carrasco, J.M., Etienne, J., Vega-Muñoz, R., Marin-Sanchez, J., Castañeda-Vildozola, Á., & Nava-Díaz, C. (2010). Nuevos registros de plantas hospederas y distribución geográfica de *Melanagromyza floris* Spencer, *M. tomaterae* Steyskal, *M. viridis* (Frost) y *Ophiomyia lantanae* (Froggatt)(Diptera: Agromyzidae) en México. *Acta Zoológica Mexicana*, 26, 59-71.
- Pandey, K. K. (1957). Genetics of Self-Incompatibility in *Physalis ixocarpa* Brot. --A New System. *American Journal of Botany*, 879-887.
- Paredes, B. D. I. (2014). *Fertilizantes de liberación controlada: una alternativa en cultivos de ciclo corto*. Tesina previa a la obtención del Título de

Especialista en suelos y nutrición de Plantas. Instituto Superior de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería Agronómica.

- Peña-Lomelí, A., Ponce-Valerio, J. J., Sánchez-del-Castillo, F., & Magaña-Lira, N. (2014). Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 381-391.
- Peña, L. A. (1994). Hibridación en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). In *Memorias de la XL Reunión Anual*. Interamerican Society for Tropical Horticulture. Campeche, México.
- Peña, L. A., & Márquez, S. F. (1990). Mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo*, 71/72, 85-88.
- Pérez, G. M., Márquez, S. F., & Peña, L. A. (1998). Mejoramiento genético de hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo.
- Piña, A. J., & Ponce, G. F. (1990). Etiología y control del carbón del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en Luvianos y Villa Guerrero, México. *Revista Chapingo*, 67(68), 22-25.
- Qin, H., Lu, K., Strong, P. J., Xu, Q., Wu, Q., Xu, Z., & Wang, H. (2015). Long-term fertilizer application effects on the soil, root arbuscular mycorrhizal fungi and community composition in rotation agriculture. *Applied Soil Ecology*, 89, 35-43. doi: 10.1016/j.apsoil.2015.01.008
- Rajan, M., Shahena, S., Chandran, V., & Mathew, L. (2021). Controlled release of fertilizers—concept, reality, and mechanism. In *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture* (pp. 41-56). Academic Press doi: 10.1016/B978-0-12-819555-0.00003-0
- Ramos-López, B. I., Martínez-Gutiérrez, G. A., Morales, I., Escamiro-satinico, C., & Pérez-Herrera, A. (2017). Consumo de agua y rendimiento de tomate de cáscara bajo diferentes cubiertas de invernaderos. *Horticultura Brasileira*, 35, 265-270. doi: 10.1590/S0102-053620170218
- Romero, B. V. (1994). *Respuesta de dos genotipos de trigo harinero a la fertilización y densidad de siembra para rendimiento y calidad en Navidad NL*. Tesis Profesional. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Rose, R., Haase, D. L., & Arellano, E. (2004). Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque (Valdivia)*, 25(2), 89-100. doi: 10.4067/S071792002004000200009
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1992). *Fisiología vegetal*. Editorial Iberoamérica.
- Salvador, C. S. G. (2014). *Estudio sobre niveles de fertilización con N, P, K, Mg utilizando una fuente de liberación controlada en el cultivo de banana Mussa AAA*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil.

- Santiaguillo, H. J. F., Cedillo, P. E., & Cuevas, S. J. A. (2010). *Distribución geográfica de Physalis spp. en México*. México: UACH-Prometeo Editores.
- Saray, M. C. R., & Loya, R. J. (1977). *El cultivo de tomate de cáscara en el estado de Morelos*. INIA-CIAMEC. Circular Núm. 57. pp. 3-11.
- Saray, M. C. R., Miranda, C. S., Carballo, C. A., & Villanueva, N. E. (1982). Importancia de la precosecha (calentamiento) en el rendimiento del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- Sattari, S. Z., Van Ittersum, M.K., Bouwman, A.F., Smit, A.L., & Janssen, B.H. (2014). Crop yield response to soil fertility and N, P, K inputs in different environments: testing and improving the QUEFTS model. *Field Crops Research*, 157, 35-46. doi: 10.1016/j.fcr.2013.12.005
- Shavit, U., Reiss, M., & Shaviv, A. (2003). Wetting mechanisms of gel-based controlled-release fertilizers. *Journal of Controlled Release*, 88(1), 71-83. doi: 10.1016/S0168-3659(02)00455-8
- Shaviv, A. (2001). Advances in controlled-release fertilizers. *Advances in Agronomy*, 71, 1-49. doi: 10.1016/S0065-2113(01)71011-5
- Shaviv, A. (2005). Environmental friendly nitrogen fertilization. *Science in China Series C: Life Sciences*, 48(2), 937-947. doi: 10.1007/BF03187132
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do?sessionId=4758B20EB666545D12EB53FCB43282B6 (consultado 10 de agosto de 2021).
- SINAREFI- Sistema Nacional de Recursos Filogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. (2016). http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_tomatedecascara.html (consultado 10 de agosto de 2021).
- Small, E. (2012). *Top 100 Exotic food plants*. CRC Press.
- SNICS. (2022). *Catálogo Nacional de Variedades Vegetales*. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. 132 p.
- Timilsena, Y. P., Adhikari, R., Casey, P., Muster, T., Gill, H. & Adhikari, B. (2015). Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1131-1142. Doi: 10.1002/jsfa.6812
- Torres-Pacheco, I., Garzón-Tiznado, J.A., Brown, J.K., Becerra-Flora, A., & Rivera-Bustamante, R. F. (1996). Detection and distribution of geminiviruses in Mexico and the southern United States. *Phytopathology*, 86, 1186-1192.
- Trenkel, M. E. (1997). Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture (Vol. 11). Paris: International fertilizer industry association.

- Trenkel, M. E. (2010). Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. IFA, International fertilizer industry association.
- Verdejo, R. (1987). *Caracterización de la variedad de tomate de cáscara 'Rendidora' (Physalis ixocarpa Brot.) para su mejoramiento genético en Chapingo, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana.
- Versino, F., Urriza, M., & García, M. A. (2019). Eco-compatible cassava starch films for fertilizer controlled-release. *International journal of biological macromolecules*, 134, 302-307. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.037
- Whitson, M., & Manos, P. S. (2005). Untangling Physalis (Solanaceae) from the physaloids: A two-gene phylogeny of the Physalinae. *Systematic Botany*, 30, 216-230.
- Wu, L., Liu, M., & Liang, R. (2008). Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. *Bioresource technology*, 99(3), 547-554. doi: 10.1016/j.biortech.2006.12.027
- Zarebska, A., Romero Nieto, D., Christensen, K. V., Fjerbæk Søtoft, L., & Norddahl, B. (2015). Ammonium fertilizers production from manure: a critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(14), 1469-1521. doi: 10.1080/10643389.2014.955630
- Zhao, G. Z., Liu, Y. Q., Tian, Y., Sun, Y. Y., & Cao, Y. (2010). Preparation and properties of macromolecular slow-release fertilizer containing nitrogen, phosphorus and potassium. *Journal of Polymer Research*, 17(1), 119-125. doi: 10.1007/s10965-009-9297-4

4. FERTILIZACIÓN DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) BAJO INVERNADERO

RESUMEN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) ocupa el quinto lugar en superficie sembrada con hortalizas en México. Debido a ello se requiere una gran cantidad de fertilizante. Sin embargo, el uso desmedido de los fertilizantes ha propiciado la degradación de suelos agrícolas y la contaminación ambiental. El uso de fertilizantes de liberación controlada (FLC) es una tecnología que permite mejorar la eficiencia de su uso y aminora los daños ambientales. Por ello, el objetivo fue evaluar el efecto de diferentes dosis de FLC en el crecimiento y desarrollo de plantas y producción de fruto, en comparación con fertilización convencional en hidroponía. El experimento se llevó a cabo en invernadero y estableció en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones donde se evaluaron seis tratamientos, cuatro de diferentes dosis de FLC y dos con soluciones nutritivas hidropónicas. La fertilización con una solución nutritiva propuesta (SNP) y la solución de Steiner al 100 % generaron plantas de mayor altura, con más hojas y mayor número de brotes basales. En las variables reproductivas, el mayor número de botones florales, flores y bolsas se obtuvo utilizando la solución nutritiva propuesta, cuyo efecto fue similar al obtenido con el 50 % de FLC. Las lecturas SPAD (Soil Plant Analysis Development) más altas se encontraron con la SNP. La fertilización con solución Steiner y con 50 % de FLC presentaron los mejores rendimientos. El tratamiento que se aproximó más a los resultados obtenidos con alguna solución nutritiva fue la dosis de 100 % FLC. De manera consistente, el tratamiento con 25 % FLC tuvo el menor efecto en la mayoría de las variables evaluadas. Los mejores rendimientos y mejor crecimiento y desarrollo de plantas se obtuvieron con las soluciones nutritivas hidropónicas aplicadas.

Palabras clave: tomatillo, Multicote®, FLC, nutrición vegetal, eficiencia en el uso de fertilizantes.

CONTROLLED-RELEASE FERTILIZATION IN HUSK TOMATO

(*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) UNDER GREENHOUSE

ABSTRACT

The husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) occupies the fifth place in area sown with vegetables in Mexico. Consequently, a large amount of fertilizer is required; however, the excessive use of fertilizers has led to the degradation of agricultural soils and environmental pollution. The use of controlled-release fertilizers (CRF) is a technology that improves the efficiency of its use and reduces environmental damage. Therefore, the objective was to evaluate the effect of different CRF doses on plant growth and development and fruit production, compared to conventional fertilization in hydroponics. The experiment was conducted in a greenhouse and established in a random complete block design with four replicates where six treatments were evaluated, four of different CRF doses and two with hydroponic nutrient solutions. Fertilization with a proposed nutrient solution (PNS) and the 100 % Steiner solution generated plants of higher height, with more leaves and greater number of basal shoots. In the reproductive variables, the largest number of flower buds, flowers and bags was obtained using the proposed nutrient solution, whose effect was similar to that obtained with 50 % of CRF. Higher SPAD (Soil Plant Analysis Development) readings were found with PNS. Fertilization with Steiner solution and 50 % CRF showed the best yields. The treatment that came closest to the results obtained with some nutrient solution was the 100 % CRF dose. Consistently, treatment with 25 % CRF had the least effect on most of the variables evaluated. The best yields and best plant growth and development were obtained with the applied hydroponic nutrient solutions.

Keywords: tomatillo, Multicote®, CRF, plant nutrition, efficiency in the use of fertilizers.

4.1. INTRODUCCIÓN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) es un cultivo muy importante en México, donde su principal uso es alimenticio. Debido a su facilidad de crecimiento en las distintas zonas de México, se reportan 40,117 hectáreas sembradas (SIAP, 2020).

De manera comercial, la mayor producción de tomate de cáscara en México se realiza a campo abierto, en pequeñas superficies, con un bajo nivel de tecnificación y bajos rendimientos. Sin embargo, se han realizado diversas investigaciones donde la producción se realiza mediante la implementación de un sistema hidropónico y bajo invernadero, ya que ofrece al productor un mejor control en el uso de fertilizantes, consumo de agua, aplicación de productos químicos, permite limitar la entrada de plagas y modificar el microclima al interior (Boulard et al., 2004; Teitel et al., 2010). Además, se han elegido estas nuevas tecnologías con fines de mejoramiento genético para garantizar la supervivencia del material vegetal de interés y que no haya contaminación por polen de otras variedades (Peña-Lomelí et al., 2014; Ponce-Valerio et al., 2012).

La fertilización es un factor que ejerce gran influencia en la calidad y rendimiento de los cultivos, por lo que cubrir los requerimientos nutrimentales de las plantas es de gran importancia para alcanzar las metas de rendimiento. Los productores, en la necesidad de cubrir la demanda nutrimental del cultivo, han realizado durante muchos años un uso desmedido de fertilizantes, lo que ha generado diversos impactos negativos como la lixiviación, contaminación en aguas subterráneas y superficiales, así como pérdida de la fertilidad y degradación de suelos (González, 2019).

Sin embargo, esto ha propiciado que la industria de los fertilizantes, en conjunto con investigadores, genere tecnologías y productos que sea mucho más amigables con el medio ambiente y que cubran la demanda de alimentos en la agricultura moderna. Así, una de las tecnologías que promete revolucionar la nutrición vegetal es la liberación controlada de nutrimentos, fertilizantes que una vez en el suelo proveen minerales a las plantas a lo largo

de su ciclo de manera paulatina, incrementando los rendimientos y reduciendo enormemente la contaminación ambiental (Baldanza et al., 2018).

En la agricultura, los fertilizantes de liberación controlada se han utilizado principalmente en cultivos como arroz (Yang et al., 2014; Ye et al., 2013), jitomate (Dongyun & Min, 2005), y también en algunas plantas ornamentales (Yahya et al., 1999), pero no se ha evaluado el efecto de este tipo de fertilizantes en tomate de cáscara.

Con base en lo anterior, en el presente trabajo se evaluó el efecto de diferentes dosis de fertilizantes de liberación controlada en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) bajo invernadero, con el objetivo de determinar su efecto en el crecimiento y desarrollo de plantas y en la producción del cultivo, en comparación con la fertilización en hidroponía.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1. Ubicación de la fase experimental

El presente trabajo se realizó en los invernaderos del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), específicamente en el invernadero correspondiente al área de Genética, a una altitud de 2,250 m.s.n.m., en las coordenadas geográficas 19° 29' 32.0" latitud norte y 98° 52' 20.1" longitud oeste. El clima predominante en Chapingo, México es Cb (Wo)(W)b(i'), correspondiente al tipo templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación media anual de 686 mm, se presentan veranos frescos con poca oscilación térmica. La temperatura media anual es de 15.9 °C, con heladas poco frecuentes y vientos dominantes provienen del sur.

4.2.2. Material vegetal

Se establecieron semillas de la variedad Gema, registrada ante el SNICS por la Universidad Autónoma Chapingo (SNICS, 2022). En el ciclo otoño-invierno 2020, la siembra fue realizada en las instalaciones del Campo "La Cerna" el día 17 de agosto. Se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades y el sustrato comercial Cosmopeat®. Se depositaron de dos a tres semillas por cavidad y posteriormente se realizó aclareo, dejando una planta por cavidad. La plántula se mantuvo en condiciones de invernadero y el riego fue cada

tercer día de forma manual con solución nutritiva de Steiner (1984) al 50 % por tres semanas. Luego se regaron diariamente con solución nutritiva de Steiner (1984) al 100 %.

4.2.3. Características fisicoquímicas del suelo y el agua empleados en el experimento

Previo al trasplante se realizó un análisis del suelo para conocer sus características. El muestreo del suelo consistió en obtener un poco de suelo de cada contenedor por bloque. En total se realizaron cuatro muestras. Adicionalmente se realizó el análisis del agua empleada para el riego.

En el Cuadro 1 se reportan las características químicas del suelo utilizado en los tratamientos correspondientes a los FLC; y las características del agua empleada para el riego.

Cuadro 1. Características químicas del suelo y agua utilizados en el experimento.

Muestra	pH	CE	CO ₃ ⁼	M.O.	N	CIC	Na	K	Ca	Mg
1	7.3	1.77	0.37	0.64	0.078	13.74	0.83	0.47	7.02	2.84
2	7.4	1.58	0.52	0.90	0.071	15.76	0.98	1.12	18.22	5.4
3	7.3	1.5	0.45	0.77	0.092	17.78	1.02	1.37	13.76	6.68
4	7.2	1.31	0.52	0.90	0.078	15.76	0.89	0.86	13.03	2.04
5	6.9	0.15	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

	CaCO ₃	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁼	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
1	0.77	2.04	1.9	14.3	58.85	0.00	6.4	34.8	2.9
2	0.99	1.39	1.54	10.65	35.06	0.00	6.4	25	3.1
3	1.11	1.49	1.48	12.10	49.79	0.00	5.5	24.4	3.2
4	0.99	1.56	1.28	9.75	32.10	0.00	6.4	48.8	1.3
5	nd	1.97	0.5	0.25	0.02	0.00	7.28	30	0.7

1, 2, 3 y 4: muestras correspondientes al suelo del bloque 1, 2, 3 y 4, respectivamente; 5: muestra de agua; pH: potencial hidrógeno; CE: Conductividad eléctrica en dS·m⁻¹; CO: carbonatos (%); M.O.: materia orgánica (%); N: nitrógeno total (%); CIC: capacidad de intercambio catiónico; Na, K, Ca y Mg en cmol(+)kg⁻¹; CaCO₃: carbonatos de calcio; Na⁺, K⁺, Ca⁺, Mg⁺, CO₃⁼, HCO₃⁼, Cl⁻ y SO₄⁼ en mmol L⁻¹; nd: no determinado.

En el Cuadro 2 se indican las características físicas del suelo utilizado en los tratamientos correspondientes a los FLC.

Cuadro 2. Características físicas del suelo utilizado en el experimento.

Muestra	Dap	A	L	R	Clase textural
1	1.46	38.6	35.7	25.8	Franco
2	1.41	37.5	35.9	26.5	Franco
3	1.64	33	36.3	30.7	Franco Arcilloso
4	1.69	39.6	32.9	27.5	Franco

1, 2, 3 y 4: muestras correspondientes al suelo del bloque 1, 2, 3 y 4, respectivamente; Dap: Densidad aparente en g·cm⁻³; A: Arena, L: Limo y R: Arcilla en %.

4.2.4. Establecimiento bajo invernadero

El trasplante se realizó el 19 de septiembre de 2020 en invernadero. Las plántulas fueron trasplantadas en macetas de polietileno negro con un volumen de 18 L. Se colocaron dos plántulas por maceta y una semana después se realizó un aclareo dejando la planta más vigorosa. El riego fue por goteo. Al tratarse de una especie autoincompatible (Pandey, 1957), se empleó un soplador de hojas para facilitar el movimiento de polen entre las flores y así garantizar el proceso de polinización y fecundación al interior del invernadero, ya que no se contó con insectos polinizadores.

4.2.5. Diseño de tratamientos y diseño experimental

El experimento consistió en seis tratamientos que se describen a continuación y se ilustran en las Figuras 1 y 2:

- T1 - FLC al 25 % que consistió en aplicar 7.5 g de Multicote AGRI® 18-06-12 + 2 MgO + micronutrientes y 3.75 g de Multicote® T17 por maceta
- T2 - FLC al 50 % que consistió en aplicar 15 g de Multicote AGRI® 18-06-12 + 2 MgO + micronutrientes y 7.5 g de Multicote® T17 por maceta
- T3 - FLC al 75 % que consistió en aplicar 22.5 g de Multicote AGRI® 18-06-12 + 2 MgO + micronutrientes y 11.25 g de Multicote® T17 por maceta
- T4 - FLC al 100 % que consistió en aplicar 30 g de Multicote AGRI® 18-06-12 + 2 MgO + micronutrientes y 15 g de Multicote® T17 por maceta
- T5 - Solución nutritiva propuesta (solución nutritiva en mg·L⁻¹: N= 80, P= 60, K= 216, Ca= 190, Mg= 23 y S= 128)

- T6 - Fertilización con solución nutritiva Steiner al 100 % (Steiner, 1984)

El tiempo de liberación de los FLC, tal como indica el fabricante, es de ocho meses para Multicote AGRI® 18-06-12 + 2 MgO + micronutrientes y cuatro meses para Multicote® T17.



Figura 1. Dosis de FLC por maceta.

Se emplearon tres tinacos para el suministro de agua y solución nutritiva: el primero, para la solución Steiner; el segundo, para la solución nutritiva propuesta, y el tercero, únicamente con agua para regar los tratamientos con FLC (Figura 2).



Figura 2. Tinacos con soluciones nutritivas para los tratamientos hidropónicos.

Los tratamientos se establecieron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde la unidad experimental fueron 20 plantas. Para los tratamientos con FLC se utilizó Multicote AGRI® 18-06-12 + 2 MgO + micronutrientes y Multicote® T17, mientras que para los otros tratamientos se utilizaron fertilizantes convencionales. En los tratamientos 1 a 4 se utilizó suelo como sustrato, y en los tratamientos 5 y 6, tezontle rojo (Figura 3).



Figura 3. Tezontle como sustrato en tratamientos hidropónicos (izquierda) y plantas establecidas en suelo con FLC (derecha).

4.2.6. Variables evaluadas

Altura de planta

En las primeras etapas se midió con una regla la altura de la planta en cm, desde el cuello del tallo a nivel de la maceta hasta el ápice de la hoja más alta (Figura 4). Cuando la altura sobrepasó los 30 cm de altura, las mediciones se efectuaron con un flexómetro (Truper®, 5 m, México). Las tomas de datos fueron a los 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 49 días después del trasplante (ddt).



Figura 4. Medición de altura de planta.

Número de hojas

Se contabilizó el número de hojas por planta, donde se tomaron en cuenta aquellas que medían aproximadamente 1 cm de ancho, efectuando las tomas a los 7, 14, 21 y 28 ddt (Figura 5).



Figura 5. Número de hojas por planta.

Número de brotes basales

Se consideró como brote basal aquel que se encontraba por debajo de la primera bifurcación. Los datos de esta variable se cuantificaron a los 21 y 28 ddt (Figura 6).



Figura 6. Estructuras consideradas brotes basales (señaladas con flechas amarillas).

Número de botones florales

Los botones florales se cuantificaron a partir de que midieran al menos 0.5 cm de alto o que fueran fácilmente visibles. Se consideró botón floral cuando conservaba una coloración verdosa, en el momento que podían apreciarse los pétalos (coloración amarillenta) ya era considerada flor. Este dato se cuantificó a los 14, 21 y 28 ddt (Figura 7).



Figura 7. Tamaño de botón floral adecuado para dicha variable.

Número de flores

Se contabilizaron las flores abiertas y se tomaron en cuenta como flor aquellos botones cuyos pétalos se observaban a simple vista que presentarán color amarillo. Aquella flor que presentaba un cáliz más alargado ya se contabilizó como bolsa. Las tomas de datos fueron a los 14, 21, 28, 35 y 42 ddt (Figura 8).



Figura 8. Estructuras consideradas como flores para el conteo de ésta variable.

Número de bolsas

Se contabilizaron como bolsas aquellas flores que ya no presentaban pétalos y que tenían el cáliz ensanchado o alargado y todas aquellas donde ya se observaba el fruto en desarrollo (Figura 9). Dicha variable se cuantificó a los 28, 35, 42 y 49 ddt.

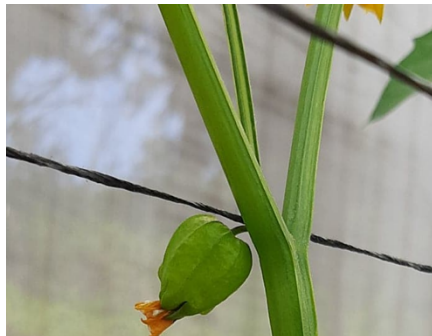


Figura 9. Estructuras adecuadas para el conteo de bolsas por planta.

Para las variables antes mencionadas, la unidad de muestreo fueron 20 plantas por tratamiento.

Unidades SPAD en hojas

Esta variable se registró en cinco plantas por tratamiento elegidas al azar. Se realizó mediante el uso de un medidor de clorofila SPAD-502 Reading Checker, dispositivo de medición portátil y no destructivo. Las tomas de datos se realizaron entre las 13:00 y 14:00 horas para evitar presencia de rocío en las hojas que afectara la lectura. Se seleccionó una hoja localizada en la parte media de la planta que fuera fotosintética activa. Se realizaron dos lecturas por hoja y el promedio de éstas fue el dato recolectado. Esta variable se tomó a los 24, 39, 55, 73, 88, 100 y 121 ddt (Figura 10).



Figura 10. Determinación de unidades SPAD en hojas.

Peso fresco y volumen de 10 frutos

Se realizaron tres cosechas. Se cosecharon todos los frutos de las 20 plantas por parcela. De los frutos cosechados por unidad experimental, se seleccionaron 10 al azar, se pesaron en una báscula y luego se retiró el cáliz para obtener el volumen de los frutos. Con ayuda de una probeta de plástico graduada a la que se le colocaron 2 litros de agua y se cuantificó el aumentó que había una vez que se colocaron los 10 frutos (Figura 11).



Figura 11. Determinación de volumen de 10 frutos.

Rendimiento

El rendimiento correspondió al peso del total de frutos cosechados por parcela. Los valores se expresaron en kg.

Peso fresco de hojas, tallos y frutos

En cada cosecha que se realizó, posterior a obtener el rendimiento por unidad experimental, se seleccionaron tres plantas representativas. Se separaron hojas, flores, tallos y frutos para obtener el peso fresco. Los valores se expresaron en gramos por planta (Figura 12).



Figura 12. Peso fresco de hojas, tallos y frutos de tomate de cáscara.

4.2.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a una prueba de análisis de varianza (ANOVA) bajo el modelo de bloques completos al azar. Además, se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey ($P = 0.05$). Se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.1.3 (SAS institute 2003).

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1. Análisis de varianza

En el análisis de varianza (Cuadro 3), para la variable de altura de planta se observa que el factor tratamientos presentó efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$). Esto indica que al menos un tratamiento de fertilización generó plantas de diferente altura en comparación con el resto. El efecto de los tratamientos se presentó en todas las mediciones a lo largo del ciclo.

Con relación al número de hojas y brotes se observa que los tratamientos tuvieron efecto altamente significativo y al menos uno de ellos generó diferente número de hojas y brotes en plantas de tomate de cáscara. Dicho comportamiento fue constante en las tomas de datos realizadas.

Cuadro 3. Análisis de varianza para altura de planta, número de hojas y brotes por planta en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

FV	GL	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5	ALT6	ALT7
BLO	3	23.41 **	10.38	144.36 **	293.35 **	1253.86 **	1061.82 **	710.64 **
TRA	5	60.11 **	123.29 **	478.04 **	1783.94 **	6542.71 **	12527.72 **	14487.86 **
Error	471	4.69	7.66	13.46	35.44	73.41	127.56	162.59
Total	479							
CV		13.07	14.34	14.33	14.61	14.28	14.14	13.50
		H1	H2	H3	H4	BR1	BR2	
BLO	3	1.45 **	8.85 **	79.30 **	2739.39 **	1.24	3.66	
TRA	5	2.16 **	16.75 **	339.01 **	2702.87 **	33.92 **	18.17 **	
Error	471	0.37	1.95	12.93	103.22	1.52	1.44	
Total	479							
CV		12.91	18.32	25.44	27.06	39.88	27.98	

FV: Fuentes de variación; BLO: Bloques; TRA: Tratamientos de fertilización; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; ALT 1,2,3,4,5,6 y 7: altura de planta (cm) a los 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 49 días después del trasplante (ddt), respectivamente; H 1,2, 3 y 4: número de hojas por planta a los 7, 14, 21 y 28 ddt, respectivamente; BR 1 y 2: número de brotes por planta a los 21 y 28 ddt, respectivamente. *, ** Significativo a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente.

El análisis de varianza correspondiente a número de botones muestra que hubo efecto significativo ($P \leq 0.05$) de tratamientos sobre dicha variable y que este fue constante en las tomas de datos realizadas (Cuadro 4). Para el caso de número de flores, a los 14 y 21 ddt los tratamientos no tuvieron efecto significativo. Sin embargo, a partir de los 28 ddt los tratamientos mostraron

efecto altamente significativo sobre el número de flores en plantas de tomate de cáscara. En la variable número de bolsas se observa que hubo efecto significativo del factor tratamientos a los 28 ddt y a partir de los 35 ddt dicho efecto fue altamente significativo.

Cuadro 4. Análisis de varianza para número de botones, flores y bolsas por planta en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

FV	GL	BOT1	BOT2	BOT3	FL1	FL2	FL3
BLO	3	1.23	14.21 **	565.43 **	0.0521	6.56 **	41.58 **
TRA	5	90.57 **	41.82 **	678.16 **	0.0471	1.17	18.05 **
Error	471	3.28	1.95	59.76	0.0893	1.03	3.01
Total	479						
CV		73.59	39.90	43.32	409.81	93.48	46.49

		FL4	FL5	BOL1	BOL2	BOL3	BOL4
BLO	3	316.65 **	625.32 **	0.28 *	27.27 **	631.55 **	2558.41 **
TRA	5	211.48 **	309.95 **	0.21 *	29.90 **	1513.24 **	1688.92 **
Error	471	22.38	44.68	0.09	5.31	45.07	137.55
Total	479						
CV		54.84	36.39	542.03	96.69	74.15	59.02

FV: Fuentes de variación; BLO: Bloques; TRA: Tratamientos de fertilización; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; BOT 1, 2 y 3: número de botones por planta a los 14, 21 y 28 ddt, respectivamente; FL 1, 2, 3, 4 y 5: número de flores por planta a los 14, 21, 28, 35 y 42 ddt, respectivamente; BOL 1, 2, 3 y 4: número de bolsas por planta a los 28, 35, 42 y 49 ddt, respectivamente. *, ** Significativo a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente.

Con relación a las unidades SPAD en hojas de tomate de cáscara, el análisis de varianza muestra que los tratamientos tuvieron efecto altamente significativo en esta variable, comportamiento que se mantuvo a lo largo del ciclo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza de unidades SPAD en hojas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

FV	GL	CL1	CL2	CL3	CL4	CL5	CL6	CL7
BLO	3	69.36 *	34.07	74.35 *	32.69	179.70	288.85 *	156.24
TRA	5	77.71 **	213.40 **	569.34 **	1323.68 **	1396.23 **	1274.47 **	565.78 **
Error	108	18.57	15.33	26.71	37.14	74.08	88.07	93.42
Total	116							
CV		9.84	8.12	11.06	14.23	22.45	27.67	34.26

FV: Fuentes de variación; BLO: Bloques; TRA: Tratamientos de fertilización; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; CL 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7: unidades SPAD en hojas a los 24, 39, 55, 73, 88, 100 y 121 ddt, respectivamente. *, ** Significativo a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente.

El Cuadro 6 muestra el análisis de varianza del peso fresco y volumen de 10 frutos obtenidos en las tres diferentes cosechas realizadas, donde se observa que no hubo efecto significativo de los tratamientos en dichas variables. Los datos correspondientes al rendimiento obtenido muestran que en la segunda cosecha y en rendimiento total hubo efecto altamente significativo entre los tratamientos, mientras que en la primera y última cosecha no hubo efecto.

El análisis de varianza correspondiente al peso de hojas, tallos y frutos obtenidos en tres plantas en cada cosecha muestra que hubo efecto altamente significativo en todas las cosechas, excepto en el peso de frutos correspondiente a la tercera cosecha, donde no hubo efecto significativo de tratamientos (Cuadro 7).

Cuadro 6. Análisis de varianza del peso fresco y volumen de 10 frutos, rendimiento por cosecha y rendimiento total de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada, obtenidos en tres cosechas.

FV	GL	PF1	PF2	PF3	V1	V2
BLO	3	30436.11	5043.28	3943.28	50934.38	6548.61
TRA	5	10722.50	4544.70	2946.97	13831.04	3794.17
Error	15	17125.28	4558.48	3128.21	18361.04	4625.28
Total	23					
CV		36.10	30.79	24.79	36.48	32.07
		V3	REN1	REN2	REN3	RENT
BLO	3	3737.50	5.85 **	1.93	5.91	6.29
TRA	5	2047.50	2.54	9.30 **	6.58	24.88 **
Error	15	4867.50	0.93	2.01	3.95	5.08
Total	23					
CV		30.50	36.45	36.04	51.28	21.58

FV: Fuentes de variación; BLO: Bloques; TRA: Tratamientos de fertilización; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; PF 1, 2 y 3: peso fresco de 10 frutos (g) correspondiente a la primera, segunda y tercera cosecha, respectivamente; V 1, 2 y 3: volumen de 10 frutos (mL) correspondiente a la primera, segunda y tercera cosecha, respectivamente; REN 1, 2 y 3: rendimiento por cosecha (kg); RENT: rendimiento total (kg).

*, ** Significativo a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente.

Cuadro 7. Análisis de varianza del peso de hojas, tallos y frutos en plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada, obtenidos en tres cosechas.

FV	GL	PH1	PH2	PH3	PT1	PT2
BLO	3	5305.25	5805.55 *	4613.55 *	30485.31 **	67072.76 **
TRA	5	58244.48 **	52346.71 **	17759.45 **	109673.29 **	107126.55 **
Error	62	2299.46	1654.04	1140.93	5873.46	7522.50
Total	70					
CV		35.91	33.82	36.57	39.39	46.22

		PT3	PFRU1	PFRU2	PFRU3
BLO	3	58310.26 **	78519.97	30311.01	6959.35
TRA	5	84156.75 **	354366.52 **	186549.60 **	31335.50
Error	62	9024.83	32405.67	42311.72	14827.15
Total	70				
CV		57.63	48.03	55.12	99.18

FV: Fuentes de variación; BLO: Bloques; TRA: Tratamientos de fertilización; CV: coeficiente de variación en %. GL: Grados de libertad; PH 1, 2 y 3: peso de hojas (g) por cosecha; PT 1, 2 y 3: peso de tallos (g) por cosecha; PFRU 1, 2 y 3: peso de frutos (g) por cosecha.

*, ** Significativo a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente.

4.3.2. Comparaciones de medias

La dinámica de crecimiento mostró diferencias significativas en todas las evaluaciones (Cuadro 8). Los tratamientos donde la fertilización fue con alguna solución nutritiva no fueron diferentes entre sí, pero fueron estadísticamente sobresalientes al resto de tratamientos. Las plantas de mayor altura se obtuvieron fertilizando con la Solución nutritiva propuesta y la solución Steiner, cuya altura final fue de 110.57 y 108.68 cm, respectivamente. Se muestra que los tratamientos con 50 %, 75 % y 100 % de FLC no fueron diferentes estadísticamente y que la altura de planta estuvo entre los 88 y 94 cm. El tratamiento con 25 % de FLC tuvo el menor efecto por lo que generó las plantas más pequeñas, con altura promedio de 74.53 cm.

La información relacionada a la fertilización de liberación controlada en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) es limitada, ya que no hay investigaciones en las que se reporte el efecto de este tipo de fertilizantes en el crecimiento y desarrollo de esta especie.

Los resultados encontrados difieren a los descritos por Li et al. (2019), donde evaluaron dos tipos de FLC (Osmocote Classic® y Agroblen®) en *Freesia*

hybrida, cuyo efecto fue sobresaliente para altura de planta, con el tratamiento de 7 g/L de Agroblen® hubo un incremento del 21.3 %. Sin embargo, autores como Andiru et al. (2013) observaron que a bajas tasas de FLC las plantas fueron más pequeñas que aquellas en donde se aplicaron fertilizantes hidrosolubles. Dichos resultados concuerdan con lo encontrado en la presente investigación. Esto puede deberse a que en los fertilizantes convencionales la liberación de nutrimentos es de forma inmediata mientras que en los FLC la liberación es paulatina, por lo que la demanda nutrimental al inicio del ciclo no fue cubierta con bajas dosis de FLC. Tal es el caso de la investigación realizada por Cole et al. (2016) en jitomate, quienes compararon MAP y FLC, donde las primeras semanas las plantas de mayor altura fueron aquellas fertilizadas de manera convencional, debido a la disponibilidad inmediata de los nutrimentos.

En el número de hojas se muestra que durante todas las evaluaciones hubo diferencias significativas. Sin embargo, esto fue más notorio a partir de los 21 ddt, donde el tratamiento más sobresaliente fue la solución nutritiva propuesta que tuvo en promedio 17.66 hojas por planta, seguido del tratamiento con solución Steiner (15.05 hojas por planta). A los 28 ddt, este comportamiento se invirtió y el tratamiento donde se fertilizó con solución Steiner tuvo las plantas con mayor número de hojas (48.44 en promedio). El tratamiento de menor efecto fue aquel con una dosis al 25 % de FLC.

A diferencia del trabajo realizado por Li et al. (2019) en *Freesia hybrida*, donde no hubo diferencias significativas en el número de hojas al aplicar diferentes dosis de FLC, se encontró que el mayor número de hojas se obtuvo con la solución Steiner al 100 % y aquellas plantas fertilizadas con dosis bajas de FLC tuvieron menos hojas por planta.

En la aparición de brotes inició a los 21 ddt el tratamiento con la solución nutritiva propuesta superó estadísticamente al resto de los tratamientos con 4.83 brotes por planta (Cuadro 8).

Peña-Lomelí et al. (2018) indicaron que en tomate de cáscara, a menor número de brotes basales se destina una mayor parte de fotoasimilados al

desarrollo de la parte vegetativa que se encuentra por encima de la primera bifurcación en plantas. En chile manzano, la eliminación de los brotes del tallo principal favorece la ventilación y disminuye la humedad relativa, en consecuencia, hay menor incidencia de enfermedades fungosas, además de acelerar la formación y maduración de frutos (Martínez, 2017). En este caso, la solución nutritiva propuesta generó más brotes basales que el resto de los tratamientos. Mulato (1984) mencionó que los brotes basales generalmente producen poca cantidad de frutos, donde la planta y variedad influyen en la cantidad de brotes por lo que es muy variable.

Cuadro 8. Comparación de medias para altura de planta, número de hojas y brotes por planta en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

Tratamiento	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5	ALT6	ALT7
25 % FLC	16.63 a ^z	18.71 bc	23.37 d	34.68 d	48.32 d	62.67 d	74.53 c
50 % FLC	17.15 a	19.21 b	25.18 c	40.20 c	57.29 c	75.70 c	88.96 b
75 % FLC	16.44 a	19.00 b	23.85 cd	37.96 c	55.22 c	74.23 c	89.56 b
100 % FLC	14.93 b	17.49 c	24.07 cd	39.11 c	57.93 c	77.64 c	94.44 b
SNP	17.26 a	20.59 a	29.53 a	47.81 a	73.33 a	97.15 a	110.58 a
Sol. Steiner	17.05 a	20.83 a	27.57 b	44.61 b	67.95 b	91.71 b	108.68 a
DMSH	0.98	1.25	1.66	2.70	3.89	5.13	5.79

	H1	H2	H3	H4	BR1	BR2
25 % FLC	4.85 a	7.56 bc	12.49 cd	34.24 c	2.30 d	3.49 d
50 % FLC	4.66 ab	7.04 c	14.06 bc	35.88 bc	3.23 bc	4.50 abc
75 % FLC	4.88 a	7.71 b	11.90 d	33.65 c	2.86 bc	4.18 bc
100 % FLC	4.75 a	7.48 bc	13.61 bc	33.29 c	2.68 cd	4.65 ab
SNP	4.43 b	7.54 bc	17.66 a	39.85 b	4.19 a	4.83 a
Sol. Steiner	4.78 a	8.44 a	15.05 b	48.44 a	3.31 b	4.10 c
DMSH^y	0.28	0.63	1.63	4.61	0.56	0.55

FLC: Fertilizante de liberación controlada; SNP: Solución nutritiva propuesta; ^yDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; ^zMedias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$); ALT 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7: altura de planta (cm) a los 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 49 días después del trasplante (ddt), respectivamente; H 1, 2, 3 y 4: número de hojas por planta a los 7, 14, 21 y 28 ddt, respectivamente; BR 1 y 2: número de brotes por planta a los 21 y 28 ddt, respectivamente.

El tratamiento que sobresalió del resto en número de botones florales fue la solución Steiner (Cuadro 9). Este comportamiento se presentó a los 14 y 21 ddt, en el cual se cuantificaron 4.12 y 4.88 botones florales por planta,

respectivamente. Sin embargo, a los 28 ddt el tratamiento con mayor efecto fue la solución nutritiva propuesta que presentó 20.76 botones florales por planta. El tratamiento con el 25 % de FLC presentó el menor efecto con un promedio de 13.38 botones florales por planta a los 28 ddt.

El efecto de los tratamientos en el número de flores presentó diferencias significativas hasta los 28 ddt, donde los tratamientos con la mayor cantidad de flores fueron 50 % de FLC, solución Steiner y la solución nutritiva propuesta con 4.40, 4.04 y 3.94 flores por planta, respectivamente. A los 42 ddt el tratamiento con el 50 % de FLC y la solución nutritiva propuesta presentaron el mayor número de flores en comparación con el resto de los tratamientos, con 19.59 y 21.18 flores por planta, respectivamente.

Yahya et al. (1999) encontraron en crisantemo que dosis entre 15 y 20 g/maceta de FLC incrementaron el número de flores por planta, esto concuerda con los resultados obtenidos con el tratamiento al 50 % de FLC donde la cantidad es similar a la aplicada en crisantemo, con lo que se obtuvo mayor cantidad de flores por planta.

La solución nutritiva propuesta destacó del resto de tratamientos al generar el mayor número de bolsas por plantas. A los 42 ddt los tratamientos sobresalientes fueron la solución nutritiva propuesta y 50 % de FLC con 15.06 y 13.41 bolsas por planta, respectivamente. Sin embargo, a los 49 ddt, la solución nutritiva propuesta tuvo el mayor efecto al presentar 25.69 bolsas por planta. El tratamiento con 25 % de FLC tuvo la menor cantidad de bolsas por planta (12.79) a los 49 ddt (Cuadro 9).

En el trabajo realizado en jitomate por Cole et al. (2016) mencionaron que el número de frutos no difiere entre los FLC y MAP, lo cual fue diferente de lo encontrado en la presente investigación, donde en el caso de tomate de cáscara hubo mayor número de bolsas en aquellas plantas fertilizadas con la solución nutritiva propuesta en comparación con las diferentes dosis de FLC.

Cuadro 9. Comparación de medias para número de botones florales, flores y bolsas por planta en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

Tratamiento	BOT1	BOT2	BOT3	FL1	FL2	FL3
25 % FLC	2.49 bc ^z	3.60 b	13.38 c	0.05 a	1.18 a	3.54 bc
50 % FLC	0.96 d	3.08 bc	21.09 a	0.11 a	1.26 a	4.40 a
75 % FLC	3.05 b	3.18 bc	16.28 bc	0.06 a	0.95 a	3.14 c
100 % FLC	2.09 c	2.89 c	18.45 ab	0.05 a	0.98 a	3.33 bc
SNP	2.06 c	3.36 bc	20.76 a	0.08 a	1.11 a	3.94 ab
Sol. Steiner	4.13 a	4.89 a	17.04 b	0.09 a	1.04 a	4.04 ab
DMSH	0.82	0.63	3.51	0.14	0.46	0.79
	FL4	FL5	BOL1	BOL2	BOL3	BOL4
25 % FLC	6.89 c	16.19 b	0.04 ab	1.86 b	6.91 bc	12.79 d
50 % FLC	9.36 ab	19.59 a	0.05 ab	3.40 a	13.41 a	22.99 ab
75 % FLC	8.15 bc	18.41 ab	0.03 ab	1.66 b	4.62 c	16.62 cd
100 % FLC	6.94 c	16.11 b	0.00 b	2.41 ab	9.05 b	20.09 bc
SNP	11.10 a	21.18 a	0.15 a	2.58 ab	15.06 a	25.69 a
Sol. Steiner	9.30 ab	18.72 ab	0.06 ab	2.38 ab	5.14 c	20.94 abc
DMSH^y	2.15	3.03	0.13	1.05	3.05	5.32

FLC: Fertilizante de liberación controlada; SNP: Solución nutritiva propuesta; ^yDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; ^zMedias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$); BOT 1, 2 y 3: número de botones florales por planta a los 14, 21 y 28 ddt, respectivamente; FL 1, 2, 3, 4 y 5: número de flores por planta a los 14, 21, 28, 35 y 42 ddt, respectivamente; BOL 1, 2, 3 y 4: número de bolsas por planta a los 28, 35, 42 y 49 ddt, respectivamente.

En el Cuadro 10 se muestra las unidades SPAD en hojas. De manera consistente se presentaron dos agrupaciones: por un lado, los tratamientos con alguna solución nutritiva, que no presentan diferencias estadísticas entre ellos pero se distinguieron del resto, y otra agrupación en la que se observan los tratamientos con FLC. Al igual que en el resto de las variables, el tratamiento con menor efecto corresponde al de 25 % de FLC.

En naranjo, la aplicación de fertilizantes de liberación controlada mostró lecturas SPAD superiores en comparación con fertirrigación (Bettaga & Ben Mimoun, 2008). De igual manera, Li et al. (2019) compararon el efecto de dos fertilizantes de liberación controlada a diferentes dosis en *Freesia hybrida*, resaltando que entre ellos no hubo diferencias con relación al contenido de

clorofila, pero sí tuvieron mejor efecto en contraste con el testigo. Esto difiere con los resultados obtenidos en esta investigación, donde las lecturas SPAD más altas se obtuvieron fertilizando con solución nutritiva.

En palma aceitera el índice SPAD en hojas fue significativamente mayor al usar fertilizantes convencionales o de liberación inmediata en comparación con aquellos de liberación controlada (Murugan et al., 2020), esto coincide con los resultados obtenidos en esta investigación.

Cuadro 10. Comparación de medias para unidades SPAD en hojas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

Tratamiento	CL1	CL2	CL3	CL4	CL5	CL6	CL7
25 % FLC	42.12 ab ^z	44.76 c	40.75 c	38.55 b	34.31 b	30.92 b	25.45 bc
50 % FLC	41.60 b	48.25 bc	44.04 bc	36.56 b	34.58 b	27.91 b	21.95 c
75 % FLC	45.59 ab	46.92 c	43.63 bc	38.46 b	33.56 b	29.28 b	25.78 bc
100 % FLC	42.51 ab	45.46 c	46.01 b	37.43 b	30.46 b	28.01 b	27.15 abc
SNP	45.65 a	51.83 ab	52.26 a	54.32 a	51.00 a	46.33 a	35.64 a
Sol. Steiner	45.72 a	52.77 a	54.72 a	53.33 a	47.85 a	42.75 a	34.35 ab
DMSH^y	4.01	3.64	4.81	5.67	8.00	8.73	8.99

FLC: Fertilizante de liberación controlada; SNP: Solución nutritiva propuesta; ^yDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; ^zMedias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$); CL 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7: unidades SPAD en hojas a los 24, 39, 55, 73, 88, 100 y 121 ddt, respectivamente.

Para el peso fresco y volumen de 10 frutos cosechados, en las tres cosechas realizadas, no hubo efecto de tratamientos, excepto en dos variables. Con relación al rendimiento, en la primera y última cosecha no hubo efecto de tratamientos, pero en la segunda cosecha y en el rendimiento total obtenido se observa el efecto de los tratamientos (Cuadro 11). La solución Steiner y el tratamiento con 50 % de FLC tuvieron un rendimiento total superior al resto con 13.16 y 12.24 kg, respectivamente, y el tratamiento con 25 % de FLC tuvo el menor rendimiento (5.94 kg).

La aplicación de urea recubierta en *Carica papaya* promovió un rendimiento mayor en comparación con la urea convencional (Silva et al., 2016). Con la aplicación de FLC en colza (*Brassica napus* L.) se obtuvo mayor rendimiento de semillas en comparación con el uso de fertilizantes solubles (Tian et al., 2016). Esto difiere de los resultados obtenidos, donde el 50 % de FLC y la

solución Steiner no presentaron diferencias con relación al rendimiento obtenido.

Cuadro 11. Comparación de medias para peso fresco y volumen de 10 frutos; y rendimiento obtenido por cosecha y total en tres cosechas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

Tratamiento	PF1	PF2	PF3	V1	V2
25 % FLC	297.50 a ^z	174.00 a	180.50 a	298.75 a	172.50 a
50 % FLC	373.75 a	225.50 a	262.50 a	372.50 a	212.50 a
75 % FLC	442.50 a	228.00 a	227.00 a	467.50 a	220.00 a
100 % FLC	385.00 a	275.00 a	214.50 a	377.50 a	265.00 a
SNP	316.25 a	213.00 a	236.00 a	322.50 a	207.50 a
Sol. Steiner	360.00 a	200.00 a	233.00 a	390.00 a	195.00 a
DMSH	300.64	155.11	128.49	311.30	156.24
	V3	REN1	REN2	REN3	RENT
25 % FLC	187.50 a	1.84 a	2.38 b	1.72 a	5.94 b
50 % FLC	255.00 a	3.95 a	3.56 ab	4.73 a	12.24 a
75 % FLC	237.50 a	2.24 a	4.31 ab	3.54 a	10.08 ab
100 % FLC	225.00 a	3.25 a	3.76 ab	3.71 a	10.71 ab
SNP	230.00 a	2.17 a	2.87 b	5.51 a	10.55 ab
Sol. Steiner	237.50 a	2.40 a	6.72 a	4.04 a	13.16 a
DMSH^y	160.28	2.21	3.25	4.56	5.18

FLC: Fertilizante de liberación controlada; SNP: Solución nutritiva propuesta; ^yDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; ^zMedias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$); PF 1, 2 y 3: peso fresco de 10 frutos en cada cosecha; V 1, 2 y 3: volumen de 10 frutos en cada cosecha; REN 1, 2 y 3: rendimiento por cosecha; RENT: rendimiento total obtenido por tratamiento.

En el peso fresco de hojas se observa que los tratamientos con alguna solución nutritiva fueron sobresalientes del resto, con el mayor peso en la primera y segunda cosecha. En la tercera cosecha la solución nutritiva propuesta tuvo mayor efecto (158.73 g), el tratamiento con 25 % de FLC presentó el menor peso fresco en hojas (44.17-57.92 g).

Con relación al peso fresco de tallo, los tratamientos con algún tipo de solución nutritiva tuvieron efecto sobresaliente al resto.

En la variable de peso fresco de frutos en la primera y segunda cosecha el tratamiento que destacó fue la solución nutritiva propuesta, que tuvo frutos de

mayor peso en comparación con el resto. Sin embargo, en la tercera cosecha ya no hubo diferencias entre tratamientos para dicha variable (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación de medias para peso de hojas, tallos y frutos de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

Tratamiento	PH1	PH2	PH3	PT1	PT2
25 % FLC	57.92 b ^z	48.83 c	44.17 d	77.08 d	69.50 c
50 % FLC	89.58 b	80.33 bc	72.17 cd	129.58 cd	125.33 bc
75 % FLC	105.00 b	90.00 bc	81.50 bcd	184.17 bc	132.17 bc
100 % FLC	110.00 b	103.67 b	89.67 bc	171.25 c	213.33 ab
SNP	226.82 a	221.82 a	158.73 a	270.00 ab	291.45 a
Sol. Steiner	219.58 a	185.33 a	113.50 b	341.67 a	302.67 a
DMSH	58.00	49.19	40.86	92.70	104.91
	PT3	PFRU1	PFRU2	PFRU3	
25 % FLC	52.00 d	157.92 c	193.17 c	51.83 a	
50 % FLC	96.83 cd	329.17 bc	314.50 bc	94.33 a	
75 % FLC	153.50 bcd	279.58 c	368.33 abc	174.67 a	
100 % FLC	180.33 abc	345.42 bc	354.50 abc	137.33 a	
SNP	270.60 a	668.90 a	564.91 a	93.82 a	
Sol. Steiner	261.45 ab	516.67 ab	459.75 ab	182.25 a	
DMSH^y	116.91	219.80	248.81	147.29	

FLC: Fertilizante de liberación controlada; SNP: Solución nutritiva propuesta; ^yDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; ^zMedias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$); PH 1, 2 y 3: peso fresco de hojas por cosecha; PT 1, 2 y 3: peso fresco de tallos por cosecha; PFRU 1, 2 y 3: peso fresco de frutos por cosecha.

4.4. CONCLUSIONES

Los tratamientos sobresalientes fueron los de hidroponía donde se fertilizó con alguna solución nutritiva, ya que presentaron los mejores rendimientos y mejor crecimiento y desarrollo de plantas que aquellos con fertilización de liberación controlada.

El tratamiento con 100 % de fertilizante de liberación controlada se aproximó más a los resultados obtenidos en los tratamientos con fertilización con solución hidropónica.

El tratamiento con menor efecto fue con 25 % de fertilizante de liberación controlada, al generar las plantas más pequeñas, con menor número de hojas,

brotes, botones florales, flores y bolsas por planta, los niveles de clorofila en las hojas fueron los más bajos y presentó el menor rendimiento en comparación con el resto de tratamientos.

4.5. LITERATURA CITADA

- Andiru, G. A., Pasian, C. C., Frantz, J. M., & Jourdan, P. (2013). Longevity of controlled-release fertilizer influences the growth of bedding impatiens. *HortTechnology*, 23(2), 157-164. doi: 10.21273/HORTTECH.23.2.157
- Baldanza, V. A. R., Souza Jr, F. G., Filho, S. T., Franco, H. A., Oliveira, G. E., Caetano, R. M. J., ... & Nazareth Silva, A. L. (2018). Controlled-release fertilizer based on poly (butylene succinate)/urea/clay and its effect on lettuce growth. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(47), 46858.
- Bettaga, N., & Ben Mimoun, M. (2008). Effects of controlled-release fertilizer versus fertigation on citrus Thompson Navel vegetative growth, yield and nitrogen status. *Acta Horticultrae*, 868, 333-338. doi: 10.17660/ActaHortic.2010.868.44
- Boulard, T., Fatnassi, H., Roy, J. C., Lagier, J., Fargues, J., Smits, N., Rougier, M., & Jeannequin, B. (2004). Effect of greenhouse ventilation on humidity of inside air and in leaf boundary-layer. *Agricultural and Forest Meteorology*, 125(3-4), 225-239. doi: 10.1016/j.agrformet.2004.04.005
- Cole, J. C., Smith, M. W., Penn, C. J., Cheary, B. S., & Conaghan, K. J. (2016). Nitrogen, phosphorus, calcium, and magnesium applied individually or as a slow release or controlled release fertilizer increase growth and yield and affect macronutrient and micronutrient concentration and content of field-grown tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 211, 420-430. doi: 10.1016/j.scienta.2016.09.028
- Dongyun, Y., & Min, Z. (2005). Effects of controlled-release and common compound fertilizers on potted tomato. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 11(1), 110-115.
- González, P. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. *Asesoría Técnica Parlamentaria*, 1(1), 1-5.
- Li, X., Yan, Z., Khalid, M., Sun, Y., Shi, Y., & Tang, D. (2019). Controlled-release compound fertilizers improve the growth and flowering of potted *Freesia hybrida*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17, 480-485. doi:10.1016/j.bcab.2019.01.004
- Martínez, G. F. De J. (2017). *Modificaciones de la relación fuente demanda para incrementar el amarre de frutos en pimiento morrón*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Chapingo.
- Mulato B, J. (1984). Desarrollo y fenología del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) variedad Rendidora en la región de Zacatepec, Morelos.

II. Dinámica del desarrollo en base a pie e investigación del sistema radical. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo.

- Murugan, P., Ong, S. Y., Hashim, R., Kosugi, A., Arai, T., & Sudesh, K. (2020). Development and evaluation of controlled release fertilizer using P (3HB-co-3HHx) on oil palm plants (nursery stage) and soil microbes. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 28, 101710. doi: 10.1016/j.bcab.2020.101710
- Pandey, K. K. (1957). Genetics of Self-Incompatibility in *Physalis ixocarpa* Brot.--A New System. *American Journal of Botany*, 44(10), 879-887. doi: 10.2307/2438909
- Peña-Lomelí, A., Magaña-Lira, N., & Quintero-Patiño, J. M. (2018). *Contribución de los brotes basales en el rendimiento de tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot. ex Horm.)*. 1er Congreso Latinoamericano y Caribeño de Agricultura Familiar. ISTH. Punta Cana, República Dominicana.
- Peña-Lomelí, A., Ponce-Valerio, J. J., Sánchez-del-Castillo, F., & Magaña-Lira, N. (2014). Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 381-391.
- Ponce-Valerio, J. J., Peña-Lomeli, A., Rodríguez-Pérez, J. E., Mora-Aguilar, R., Castro-Brindis, R., & Magaña Lira, N. (2012). Densidad y poda en tres variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivado en invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 18(3), 325-332. doi: 10.5154/r.rchsh.2010.08.028
- Silva, J. G. B. D., Santos, E. M. D., Silva, R. L., & Cavalcante, Í. H. (2016). Nutritional status and fruit production of *Carica papaya* as a function of coated and conventional urea. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20, 322-328. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v20n4p322-328
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). Consultado 15-agosto-2021 en: <http://www.siap.gob.mx>
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2022). Catálogo Nacional de Variedades Vegetales. 132 p.
- Steiner, A. A. (1984). The universal solution. In *Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-649). ISOSC.
- Teitel, M., Atias, M., & Barak, M. (2010). Gradients of temperature, humidity and CO₂ along a fan-ventilated greenhouse. *Biosystems Engineering*, 106(2), 166-174. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2010.03.007
- Tian, C., Zhou, X., Liu, Q., Peng, J. W., Wang, W. M., Zhang, Z. H., ... & Guan, C. Y. (2016). Effects of a controlled-release fertilizer on yield, nutrient uptake, and fertilizer usage efficiency in early ripening rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Zhejiang University-Science B*, 17(10), 775-786. doi: 10.1631/jzus.B1500216

- Yahya, A., Safie, H., & Mokhlas, M. S. (1999). Growth and flowering responses of potted chrysanthemums in a coir dust-based medium to different rates of controlled-release fertilizer. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 27, 39-46.
- Yang, J. I., Gang, L. I. U., Jing, M. A., ZHANG, G. B., & Hua, X. U. (2014). Effects of urea and controlled release urea fertilizers on methane emission from paddy fields: A multi-year field study. *Pedosphere*, 24(5), 662-673. doi: 10.1016/S1002-0160(14)60052-7
- Ye, Y., Liang, X., Chen, Y., Liu, J., Gu, J., Guo, R., & Li, L. (2013). Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation, yield, water and nitrogen use. *Field Crops Research*, 144, 212-224. doi: 10.1016/j.fcr.2012.12.003

5. FERTILIZACIÓN DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) A CAMPO ABIERTO

RESUMEN

Se estudió el efecto de diferentes dosis de fertilizantes de liberación controlada, solos o acompañados de fertilización complementaria, en comparación con fertilizantes convencionales suministrados a través de dos soluciones nutritivas en tomate de cáscara establecido a campo abierto, con el objetivo de determinar su efecto en el crecimiento y desarrollo de plantas y la producción del cultivo. La investigación se llevó a cabo en Chapingo, Estado de México, durante el ciclo primavera-verano 2021, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Para las variables altura de planta, número de hojas, botones, flores y bolsas, los tratamientos con fertilizantes de liberación controlada solos o acompañados de fertilización complementaria los resultados obtenidos fueron semejantes a los generados con la solución nutritiva propuesta. En las lecturas SPAD relacionadas al contenido de clorofila no hubo diferencias entre los tratamientos. El peso fresco, volumen y peso seco de 10 frutos por cosecha no generó diferencias entre tratamientos. Sin embargo, para el peso seco promedio la solución Steiner tuvo el mayor efecto en comparación con 200 % de FLC + fertilización complementaria. El rendimiento total obtenido con los fertilizantes de liberación controlada solos o con fertilización complementaria fue semejante al obtenido con la solución nutritiva propuesta. En área foliar no hubo diferencias entre los tratamientos. La solución Steiner generó las plantas más pequeñas, con menor número de hojas, botones florales, flores y bolsas por planta, además de representar el menor rendimiento total. De manera general, el efecto de los tratamientos de FLC solos o acompañados con fertilización complementaria fue similar al de la solución nutritiva propuesta.

Palabras clave: eficiencia de fertilización, FLC, nutrición de plantas, impacto ambiental, solución nutritiva.

CONTROLLED-RELEASE FERTILIZATION IN HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) IN OPEN FIELD

ABSTRACT

The effect of different controlled-release fertilizers doses alone or accompanied by complementary fertilization was studied, compared to conventional fertilizers supplied through two nutritious solutions in husk tomato set to open field, in order to determine their effect on plant growth and development and crop production. The research was carried out in Chapingo, State of Mexico, during the spring-summer 2021 cycle, under an experimental design of random complete blocks with four replications. For variable plant height, number of leaves, flower buds, flowers and bags, the treatments with controlled-release fertilizers alone or accompanied by complementary fertilization the results obtained were similar to those generated with the proposed nutrient solution. In the SPAD readings related to chlorophyll content there were no differences between treatments. The fresh weight, volume and dry weight of 10 fruits per harvest did not generate differences between treatments, however, for the average dry weight the Steiner solution had the greatest effect compared to 200 % of CRF + complementary fertilization. The total yield obtained with controlled-release fertilizers alone or with complementary fertilization was similar to that obtained with the proposed nutrient solution. In foliar area there were no differences between treatments. The Steiner solution generated the smallest plants, with fewer leaves, flower buds, flowers and bags per plant, in addition to representing the lowest total yield. In general, the effect of CRF treatments alone or accompanied by complementary fertilization was similar to that of the proposed nutrient solution.

Keywords: fertilization efficiency, CRF, plant nutrition, environmental impact, nutrient solution.

5.1. INTRODUCCIÓN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) es una hortaliza de gran importancia en México. En el año 2020 la producción nacional fue de 766,515 toneladas. Se reportan 40,117 hectáreas sembradas, de las cuales el 78.1 % se desarrolló bajo condiciones de riego y en temporal el 21.8 %. El rendimiento que se obtiene en promedio a nivel nacional es de 19.28 t·ha⁻¹. El principal uso del tomate de cáscara es alimentario, por lo que su producción ha aumentado debido al alto consumo de esta hortaliza, con un consumo *per cápita* de 5.3 kg (SIAP, 2020). La agricultura en México se enfrenta a problemas como reducida fertilidad y pérdida de suelos, lo que ha obligado a los productores a utilizar de manera indiscriminada grandes cantidades de fertilizantes de síntesis química (Palm et al., 2014).

El agotamiento de recursos y la liberación de contaminantes al ambiente han llegado a un extremo preocupante, al comprometer la calidad de vida y la supervivencia de las generaciones futuras, así como el crecimiento económico, debido a la forma inadecuada en el manejo de los fertilizantes (Jaime et al., 2019).

Gracias a diversas investigaciones se sabe que algunos nutrimentos suministrados a través de la fertilización se pierden, lo que da como resultado una disminución en la eficiencia de uso de los fertilizantes. Nutrimentos como el nitrógeno se pierde por lixiviación y volatilización, el fósforo se precipita como una molécula no soluble que reacciona fácilmente con otros componentes existentes en el suelo y el potasio es adsorbido fuertemente por las partículas de arcilla, lo que limita su disponibilidad (Blaylock, 2003).

El impacto ambiental que genera el uso excesivo de fertilizantes de síntesis química y la baja eficiencia de utilización de estos ha despertado el interés y la preocupación en los investigadores para desarrollar tecnologías que permitan una mejor eficiencia de uso de fertilizantes y al mismo tiempo disminuir el impacto ambiental. Melgar (2005) menciona que la industria de fertilizantes ha realizado importantes avances en su mejora tecnológica con el fin de proveer los niveles óptimos de nutrimentos que satisfagan las

necesidades de cultivo, para obtener buenos rendimientos sin poner en riesgo al medio ambiente.

Una tecnología en uso principalmente por la industria forestal en etapa de viveros es la liberación controlada. Los fertilizantes de liberación controlada (FLC), conocidos también como CRF (por sus siglas en inglés), se basan en la tecnología de recubrimiento con polímeros biodegradables que permitirán la liberación de nutrientes de forma controlada en función de la temperatura y la humedad del suelo (Blaylock, 2003).

Adicionalmente, el encapsulamiento de los nutrientes permite que este tipo de fertilizantes puedan ser aplicados cerca del sistema radical ya que no representa un riesgo por exceso de sales en las raíces. Para la liberación de los nutrientes, el agua debe penetrar al interior del gránulo, disolver los nutrientes y la liberación se da de forma progresiva en función de la temperatura y humedad del suelo. La longevidad de liberación de las diferentes formulaciones es determinada por el grosor del recubrimiento y este dato es proporcionado por la empresa que manufacture el fertilizante.

Para que un fertilizante sea considerado de liberación controlada debe cumplir con los requisitos de un fertilizante ideal, mismos que han sido definidos por Shoji & Gandeza (1992): 1) aplicarse una única ocasión a lo largo de todo el ciclo de cultivo cumpliendo con la cantidad necesaria de nutrientes para un óptimo crecimiento y desarrollo, 2) tener un alto porcentaje de recuperación de estos nutrientes con el fin de lograr una mayor productividad y 3) presentar menor efecto perjudicial sobre el ambiente.

La mayor producción de tomate de cáscara se realiza a campo abierto, esto debido a la necesidad de insectos polinizadores para que se lleve a cabo una correcta polinización. Peña-Lomelí et al. (2014) mencionaron que el mejor rendimiento y tamaño de fruto se obtiene cuando se emplea el sistema de producción a campo abierto con riego por goteo y acolchado, ya que este sistema permite la circulación de polinizadores, se realiza un uso eficiente del agua y limita o disminuye la competencia con malezas por nutrientes.

Evaluar el efecto de diferentes dosis de FLC en el sistema de producción más común en tomate de cáscara es de suma importancia para poder determinar el crecimiento y desarrollo de plantas y en la producción del cultivo, en comparación con la fertilización hidropónica convencional.

5.2. MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1. Ubicación de la fase experimental

El experimento se realizó en el ciclo primavera-verano 2021 y se estableció a un costado de uno de los invernaderos del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), específicamente al invernadero correspondiente al área de Genética, a una altitud de 2,250 msnm. En las coordenadas geográficas 19° 29' 32.2" latitud norte y 98° 52' 20.6" longitud oeste. En los primeros seis meses del año, la temperatura máxima ronda entre los 21 °C y los 26 °C, donde los días más calurosos se presentan en el mes de mayo. La temperatura mínima en esos meses es de 12 °C en promedio. El mes más frío en esta zona es enero con una temperatura mínima promedio de 6 °C. El período de lluvia inicia a finales de mayo y termina en octubre.

5.2.2. Material vegetal

Se establecieron semillas de la variedad Morado San Miguel (Figura 13). En el ciclo primavera-verano 2021, la siembra se realizó en los invernaderos correspondientes al área de Genética de la UACH el día 24 de febrero. Se utilizó sustrato comercial Cosmopeat® y charolas de poliestireno de 200 cavidades. Se depositaron de dos a tres semillas por cavidad y posteriormente se realizó un aclareo, dejando una planta por cavidad. La plántula se mantuvo en condiciones de invernadero y se regó cada tercer día de forma manual con solución nutritiva de Steiner al 50 % (Steiner, 1984) por tres semanas y luego se regaron diariamente con solución nutritiva de Steiner al 100 %.



Figura 13. Tomate de cáscara variedad Morado San Miguel.

5.2.3. Establecimiento en campo abierto

El suelo que se utilizó para este ciclo de cultivo fue el mismo empleado en un experimento realizado previamente en invernadero. Para eliminar semillas de malezas y fitopatógenos, el suelo se sometió a vaporización durante aproximadamente ocho horas y el plástico utilizado para taparlo fue retirado al día siguiente.

Previo al trasplante se colocó “ground cover” para disminuir la emergencia de maleza en el área experimental (Figura 14). El trasplante se realizó el 19 de abril a un costado del invernadero correspondiente al área de Genética. Las plántulas fueron trasplantadas en macetas de polietileno negro con un volumen de 18 L. Se colocaron dos plántulas por maceta y a la semana se realizó aclareo dejando la planta más vigorosa. Las primeras dos semanas se colocó sobre las plantas una cubierta flotante (Agribón®) para protegerlas del frío, vientos fuertes y posibles granizadas, además de evitar que llegaran plagas. El riego fue por goteo.



Figura 14. Colocación de “ground cover” para disminuir presencia de malezas y plagas.

5.2.4. Diseño de tratamientos y diseño experimental

El experimento consistió en seis tratamientos:

- T1- FLC al 200 % que son 60 g Multicote AGRI® 18-06-12 + 2 MgO + micronutrientes y 30 g Multicote® T17 por maceta + fertilización complementaria
- T2 - FLC al 100 % que son 30 g de Multicote AGRI® 18-06-12 + 2 MgO + micronutrientes y 15 g de Multicote® T17 por maceta + fertilización complementaria
- T3 - FLC al 200 % consistió en 60 g Multicote AGRI® 18-06-12 + 2 MgO + micronutrientes y 30 g Multicote® T17 por maceta
- T4 - FLC al 100 % que consiste en 30 g de Multicote AGRI® 18-06-12 + 2 MgO + micronutrientes y 15 g de Multicote® T17 por maceta
- T5 - Solución nutritiva propuesta (solución nutritiva en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$: N= 80, P= 60, K= 216, Ca= 190, Mg= 23 y S= 128)
- T6 - fertilización con solución nutritiva Steiner al 100 % (Steiner, 1984).

El tiempo de liberación de los FLC, tal como indica el fabricante, es de ocho meses para Multicote AGRI® 18-06-12 + 2 MgO + micronutrientes y cuatro meses para Multicote® T17.

La fertilización complementaria consistió en suministrar solución Steiner al 100 % por una semana, en la primera semana después del trasplante.

Los tratamientos se establecieron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde la unidad experimental fueron 10 plantas. Para los tratamientos con FLC se utilizó Multicote AGRI® 18-06-12 + 2 MgO + micronutrientes y Multicote® T17, mientras que para los otros tratamientos se utilizaron fertilizantes convencionales para hidroponía. En los tratamientos 1-4 se utilizó suelo como sustrato y en los tratamientos 5 y 6, tezontle rojo.

5.2.5. Variables evaluadas

Altura de planta

En las primeras etapas, se midió con una regla la altura de la planta en cm, desde el cuello del tallo a nivel de la maceta, hasta el ápice de la hoja más alta. Cuando la altura sobrepasó los 30 cm de altura, las mediciones se efectuaron con cinta métrica. Las tomas de datos fueron a los 5, 12, 19, 26, 33, 40, 54, 68 y 80 días después del trasplante (ddt).

Número de hojas

Se contabilizó el número de hojas por planta, donde se tomaron en cuenta aquellas que medían aproximadamente 1 cm de ancho, efectuando las tomas a los 5, 12, 19 y 26 ddt.

Número de botones florales

Los botones florales se cuantificaron a partir de que midieran al menos 0.5 cm de alto o que fueran fácilmente visible. Se consideró botón floral cuando conservaba una coloración verdosa. En el momento que podían apreciarse los pétalos (coloración amarillenta) ya se consideraba flor. Este dato se cuantificó a los 5, 12, 19 y 26 ddt.

Número de flores

Se contabilizaron las flores abiertas y se tomaron en cuenta como flor aquellos botones florales cuyos pétalos presentaran color amarillo. Aquella flor que

presentaba un cáliz más alargado ya se contabilizó como bolsa. Las tomas de datos fueron a los 5, 12, 19, 26 y 33 ddt.

Número de bolsas

Se contabilizaron como bolsas aquellas flores que ya no presentaban pétalos y que tenían el cáliz ensanchado o alargado y todas aquellas donde ya se observaba el fruto en desarrollo. Dicha variable se cuantificó a los 19, 26, 33, 40, 54, 68 y 80 ddt.

Para las variables antes mencionadas, la unidad de muestreo fueron 10 plantas por unidad experimental.

Unidades SPAD en hojas

Esta variable se registró en cinco plantas por tratamiento elegidas al azar. Se realizó mediante el uso de un medidor de clorofila SPAD-502 Reading Checker, dispositivo de medición portátil y no destructivo. Las tomas de datos se realizaron entre las 13:00 y 14:00 horas para evitar presencia de rocío en las hojas que afectara la lectura. Se seleccionó una hoja localizada en la parte media de la planta que fuera fotosintética activa, se realizaron dos lecturas por hoja y el promedio de éstas fue el dato recolectado. Esta variable se tomó a los 23, 34, 40, 54, 68 y 80 ddt.

Peso fresco, volumen y peso seco de 10 frutos

Se realizaron tres cosechas. En cada una, después de cosechar todos los frutos de las 10 plantas por unidad experimental, se seleccionaron 10 frutos al azar, se pesaron en una báscula y luego se retiró el cáliz para obtener el volumen de los frutos, con ayuda de una probeta de plástico graduada a la que se le colocaron dos litros y se cuantificó el aumento que había una vez que se colocaron los 10 frutos. Para obtener el peso seco, los frutos se secaron en una estufa a una temperatura de 50 °C durante 5 días (Figura 15).



Figura 15. Determinación de volumen (izquierda) y peso seco (derecha) de 10 frutos.

Rendimiento

El rendimiento correspondió al peso del total de frutos cosechados por unidad experimental. Los valores se expresaron en kg.

Peso fresco y seco de frutos

En la primera y segunda cosecha, luego de obtener el rendimiento por unidad experimental, se seleccionaron dos plantas representativas. Se separaron los frutos para obtener el peso fresco con ayuda de una báscula y luego se secaron en una estufa de secado a una temperatura de 50 °C durante cinco días. Los valores se expresaron en gramos por planta (Figura 16).



Figura 16. Determinación de peso seco de frutos.

Área foliar

En la primera y segunda cosecha se seleccionaron dos plantas representativas, se separaron las hojas y utilizando un integrador foliar Li-Cor® 3100 se cuantificó el área foliar en cm^2 (Figura 17).



Figura 17. Integrador foliar Li-Cor® 3100 para determinar área foliar

5.2.6. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a una prueba de análisis de varianza (ANOVA) bajo el modelo de bloques completos al azar. Además, se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey ($P = 0.05$). Se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.1.3 (SAS institute 2003).

5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.3.1. Análisis de varianza

El análisis de varianza correspondiente a altura de planta muestra que los tratamientos tuvieron efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$) a lo largo del ciclo (Cuadro 13). Posterior a la primera y segunda cosecha (ALT8 y ALT9, respectivamente), la altura continuó presentando efecto altamente significativo por el factor tratamientos. En la toma de datos realizada a los 5 ddt no hubo efecto de tratamientos para el número de hojas, fue hasta los 12 ddt que se presentó efecto altamente significativo, que se mantuvo en el resto de los datos recolectados.

Cuadro 13. Análisis de varianza de altura de planta y número de hojas en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

FV	GL	ALT1	ALT2		ALT3		ALT4		ALT5		ALT6		ALT7	
BLO	3	40.27	20.46		40.94		120.18		238.32 **		272.74		377.01	
TRA	5	67.14 **	55.74 **		197.96 **		505.01 **		747.14 **		892.91 **		1045.01 **	
Error	231	13.85	16.28		17.09		33.33		49.01		71.96		105.02	
Total	239													
CV		22.67	20.83		17.56		19.20		18.84		19.69		21.19	
		ALT8		GL	ALT9		GL	NH1		NH2		NH3		NH4
BLO	3	547.92	3		471.37		3	6.54		107.01		3103.19		5310.17
TRA	5	1194.26 **	5		1238.52 **		5	5.85		3239.88 **		23116.40 **		73872.59 **
Error	178	130.84	150		137.55		231	2.41		82.75		482.13		3002.30
Total	186			158		239								
CV		21.87			20.25			20.28		35.37		30.29		34.86

FV: Fuentes de variación; BLO: Bloques; TRA: Tratamientos de fertilización; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; ALT 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9: altura de planta (cm) a los 5, 12, 19, 26, 33, 40, 54, 68 y 80 ddt, respectivamente; NH 1, 2, 3 y 4: número de hojas a los 5, 12, 19 y 26 ddt, respectivamente.

*, ** Significativo a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente.

Con relación al número de botones florales por planta apartir de los 12 ddt se observa efecto altamente significativo entre tratamientos (Cuadro 14).

Al igual que en las variables número de hojas y botones florales, los primeros días no se observó efecto significativo para la cantidad de flores por planta, fue apartir de los 12 ddt que hubo efecto altamente significativo en dicha variable.

Para el caso de número de bolsas por planta se muestra que hubo efecto altamente significativo en todas las tomas de datos realizadas.

Cuadro 14. Análisis de varianza de número de botones florales, flores y bolsas por planta en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

FV	GL	BOT1	BOT2	BOT3	BOT4	FL1	FL2
BLO	3	2.57	12.69	1000.25 **	3567.72 **	0.24	4.66
TRA	5	1.10	148.58 **	2924.59 **	11677.88 **	1.27	16.20 **
Error	231	0.77	6.11	78.89	458.45	0.91	2.77
Total	239						
CV		46.75	36.05	39.05	45.88	68.36	43.15

		FL3	FL4	FL5	BOL1	BOL2	BOL3
BLO	3	15.51	70.38	879.70	73.68	374.47	620.06
TRA	5	44.23 **	1021.17 **	4397.59 **	109.31 **	737.52 **	2588.91 **
Error	231	5.96	56.03	181.21	19.88	97.20	144.33
Total	239						
CV		37.30	48.03	36.75	57.89	53.07	33.17

		BOL4	BOL5	GL	BOL6	GL	BOL7
BLO	3	1679.79	1367.94	3	1084.02	3	713.12
TRA	5	9468.53 **	5552.88 **	5	3355.59 **	5	2289.95 **
Error	231	621.53	576.06	178	576.06	150	398.63
Total	239			186		158	
CV		35.55	36.81		38.68		48.08

FV: Fuentes de variación; BLO: Bloques; TRA: Tratamientos de fertilización; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; BOT 1, 2, 3 y 4: número de botones florales por planta a los 5, 12, 19 y 26 ddt, respectivamente; FL 1, 2, 3, 4 y 5: número de flores por planta a los 5, 12, 19, 26 y 33 ddt, respectivamente; BOL 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7: número de bolsas por planta a los 19, 26, 33, 40, 54, 68 y 80 ddt, respectivamente.

, ** Significativo a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente.

Con relación a las unidades SPAD en hojas, sólo en la primera y quinta toma de datos, correspondientes a los 28 y 68 ddt respectivamente, se presentó efecto altamente significativo (Cuadro 15). En la última toma de datos de esta variable (a los 80 ddt) no hubo efecto significativo por el factor tratamientos.

Cuadro 15. Análisis de varianza de unidades SPAD en hojas en plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

FV	GL	CL1	CL2	CL3	CL4	CL5	GL	CL6
BLO	3	45.78	42.02	36.64	23.14	8.01	3	36.05
TRA	5	213.78 **	55.90	47.49	54.85	166.63 **	5	155.67
Error	110	29.46	35.70	45.87	38.49	41.70	93	89.15
Total	118						101	
CV		9.87	10.17	12.05	11.19	12.14		23.66

FV: Fuentes de variación; BLO: Bloques; TRA: Tratamientos de fertilización; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; CL 1, 2, 3, 4, 5 y 6: unidades SPAD en hojas a los 23, 34, 40, 54, 68 y 80 ddt, respectivamente.

*, ** Significativo a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente.

El análisis correspondiente al peso fresco, volumen y peso seco de 10 frutos obtenidos en las tres diferentes cosechas muestra que no hubo efecto significativo, excepto para el peso seco promedio donde fue altamente significativo (Cuadro 16). Se observa también que hubo efecto altamente significativo entre tratamientos en el rendimiento correspondiente a la primera cosecha y en rendimiento total.

De los datos obtenidos en la primera cosecha relacionados al peso fresco y seco de frutos y área foliar, se observa que la única variable donde los tratamientos tuvieron efecto significativo ($P \leq 0.05$) fue el peso seco de frutos. Para el caso de la segunda cosecha no hubo efecto en ninguna de las variables (Cuadro 17).

Cuadro 16. Análisis de varianza del peso fresco, volumen y peso seco de diez frutos en tres cosechas y rendimiento por cosecha y total en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

FV	GL	PF1	PF2	PF3	PFP	V1	V2	V3	VP
BLO	3	1430.44	1648.22	1001.50	36.02	2211.11	1172.22	1493.06	190.59
TRA	5	1179.20	690.27	1309.37	359.44	1706.67	1056.67	1407.50	481.57
Error	15	1276.71	1878.09	999.50	662.29	1264.44	2572.22	1089.72	773.18
Total	23								
CV		14.92	18.83	15.32	11.42	14.71	23.14	17.26	12.79
		PS1	PS2	PS3	PSP	REN1	REN2	REN3	RENT
BLO	3	13.90	24.86	2.57	3.05	0.34	0.69	0.20	1.87
TRA	5	12.70	39.09	3.69	11.13 **	2.23 **	1.37	0.53	3.91 **
Error	15	8.68	21.73	5.06	2.53	0.51	1.08	0.32	0.93
Total	23								
CV		15.55	24.67	20.17	9.75	22.26	41.76	35.97	13.30

FV: Fuentes de variación; BLO: Bloques; TRA: Tratamientos de fertilización; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; PF 1, 2 y 3: peso fresco de diez frutos en la primera, segunda y tercera cosecha, respectivamente; PFP: peso fresco promedio de frutos; V 1, 2 y 3: volumen de diez frutos en la primera, segunda y tercera cosecha, respectivamente; VP: Volumen promedio de frutos; PS 1, 2 y 3: peso seco de diez frutos en la primera, segunda y tercera cosecha, respectivamente; PSP: Peso seco promedio de frutos; REN 1, 2 y 3: rendimiento por cosecha; RENT: Rendimiento total.

*, ** Significativo a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente.

Cuadro 17. Análisis de varianza del peso fresco y seco de frutos y área foliar en plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada, primera y segunda cosecha.

FV	GL	PFF1	PSF1	AF1	PFF2	PSF2	AF2
BLO	1	22146.41	138.72	1833106.94	7248.50	137.19	117423.67
TRA	5	46323.06	636.76 **	1144136.00	13404.32	90.03	4542013.46
Error	17	24213.86	113.61	615432.75	6973.58	46.64	1803003.06
Total	23						
CV		62.84	37.58	28.10	39.58	37.30	37.28

FV: Fuentes de variación; BLO: Bloques; TRA: Tratamientos de fertilización; CV: coeficiente de variación en %; GL: Grados de libertad; PFF 1 y 2: peso fresco de frutos en la primera y segunda cosecha, respectivamente; PSF 1 y 2: peso seco de frutos en la primera y segunda cosecha, respectivamente; AF 1 y 2: área foliar en la primera y segunda cosecha, respectivamente.

*, ** Significativo a una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente.

5.3.2. Comparaciones de medias

En el ciclo correspondiente a primavera-verano, la dinámica de crecimiento muestra que a los 5 ddt el tratamiento sobresaliente fue la solución nutritiva propuesta, donde las plantas fueron más altas (18.91 cm) en comparación con aquellas fertilizadas con el resto de los tratamientos. A los 19 ddt, el tratamiento que presentó las plantas más pequeñas fue la solución Steiner con 19.25 cm de altura, y el resto de los tratamientos no fueron estadísticamente diferentes en esa toma de datos. A los 26 ddt el tratamiento sobresaliente fue el de 100 % de FLC + fertilización complementaria, dicho efecto continuó hasta los 40 ddt. En estas mismas fechas, el tratamiento con el menor efecto en altura de planta fue aquel donde las plantas fueron fertilizadas con la solución Steiner. A partir de los 54 ddt se observa que no hubo diferencias entre los tratamientos con alguna dosis de FLC y la solución nutritiva propuesta; además, a los 80 ddt la solución Steiner tuvo el menor efecto al generar las plantas de menor tamaño (45.39 cm).

En un estudio realizado en palma aceitera (*Elaeis guineensis*), Murugan et al. (2020) encontraron que al aplicar FLC en etapa de vivero se obtuvieron plántulas más altas en comparación con aquellas fertilizadas convencionalmente. Esto coincide con lo obtenido en la presente investigación donde las plantas más altas se obtuvieron con FLC. En *Viburnum tinus* se evaluaron diferentes dosis de solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada, encontrando que no existieron diferencias entre las dosis altas y bajas de FLC y la dosis alta de solución nutritiva, pero sí fueron estadísticamente superiores a solución nutritiva en dosis baja (Narváez, 2008). Esto se diferencia de los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que las plantas más altas se mostraron al aplicar fertilizantes de liberación controlada en diferentes dosis.

Con relación al número de hojas por planta se observa que a los 5 ddt no hubo efecto significativo por parte de ningún tratamiento. Es a partir de los 12 ddt donde los tratamientos que muestran mayor número de hojas por planta son 100 % de FLC + fertilizantes complementarios y 100 % de FLC (con 35.08 y 30.63 hojas por planta, respectivamente). Para esta variable, el tratamiento

con la menor cantidad de hojas (76.75 hojas por planta) a los 26 ddt fue aquel donde se fertilizó con solución Steiner (Cuadro 18).

La fertilización con Osmocote 14-06-12, un fertilizante de liberación controlada aplicado en la variedad ‘Stufgarter Reisen’ de cebolla (*Allium cepa* L.), afectó significativamente el número de hojas por planta en comparación con otro FLC y fertilizante soluble (Amans & Slangen, 1994), esto concuerda con los resultados obtenidos al aplicar FLC en plantas de tomate de cáscara al presentar mayor número de hojas que las plantas fertilizadas con solución nutritiva. En un cultivar de *Impatiens* se encontró que al incrementar las tasas de FLC el número de hojas aumentó (Haver & Schuch, 1996), esto concuerda con los resultados obtenidos ya que al aumentar la cantidad de FLC hubo mayor cantidad de hojas en comparación con las plantas fertilizadas con solución nutritiva.

Cuadro 18. Comparación de medias para altura de planta y número de hojas por planta en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

Tratamiento	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5	ALT6	ALT7
200 % FLC + comp	15.80 b ^z	19.06 ab	24.50 a	31.86 ab	39.36 ab	45.89 ab	50.36 a
100 % FLC + comp	15.58 b	19.30 ab	24.98 a	33.51 a	41.48 a	47.28 a	52.31 a
200 % FLC	15.39 b	19.23 ab	23.15 a	29.77 b	37.27 ab	43.49 ab	48.51 a
100 % FLC	16.49 b	19.94 ab	25.23 a	32.40 ab	39.50 ab	46.15 ab	52.98 a
SNP	18.91 a	21.16 a	24.18 a	29.31 b	36.18 b	41.15 b	47.15 a
Sol. Steiner	16.31 b	17.55 b	19.25 b	23.60 c	29.20 c	34.55 c	38.95 b
DMSH	2.3912	2.5932	39.6610	39.4937	39.4937	39.4937	39.3277
	ALT8	ALT9	H1	H2	H3	H4	
200 % FLC + comp	54.17 a	59.44 a	7.90 a	28.90 b	84.69 ab	167.44 ab	
100 % FLC + comp	55.67 a	59.59 a	7.85 a	35.08 a	84.40 ab	183.90 ab	
200 % FLC	54.03 a	60.62 a	7.28 a	25.70 b	69.48 c	157.62 b	
100 % FLC	58.28 a	65.22 a	8.18 a	30.63 ab	93.68 a	201.25 a	
SNP	51.00 a	57.92 a	7.55 a	25.10 b	76.72 bc	156.31 b	
Sol. Steiner	40.81 b	45.39 b	7.20 a	8.90 c	26.35 d	76.75 c	
DMSH^y	31.1286	26.4654	0.9980	5.8454	39.6610	39.4937	

FLC + comp: Fertilizante de liberación controlada + fertilizantes complementarios; FLC: Fertilizante de liberación controlada; SNP: Solución nutritiva propuesta; ^yDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; ^zMedias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$); ALT 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9: altura de planta (cm) a los 5, 12, 19, 26, 33, 40, 54, 68 y 80 ddt, respectivamente; H 1, 2, 3 y 4: número de hojas por planta a los 5, 12, 19 y 26 ddt, respectivamente.

Los tratamientos que presentaron el mayor número de botones florales por planta a los 12 ddt fueron con 100 % de FLC + fertilización complementaria y 100 % de FLC, con 8.30 y 8.08 botones, respectivamente, donde el tratamiento con el menor número de botones florales fueron las plantas fertilizadas con solución Steiner (3.18). A los 19 ddt el tratamiento con 100 % de FLC sobresalió del resto con 29.33 botones florales por planta. Los últimos datos reportados indican que el tratamiento con el mayor número de botones florales por planta fue con 100 % de FLC + fertilización complementaria (con un total de 62.55 botones) y, de manera consistente, el tratamiento con solución Steiner presentó la menor cantidad de botones florales por planta (14.85) a los 26 ddt.

El tratamiento que a lo largo del ciclo presentó mayor cantidad de flores por planta fue con 200 % de FLC + fertilización complementaria que tuvo 47.26 flores a los 33 ddt, el menor número de flores (17.80) se obtuvo con el tratamiento cuyas plantas fueron fertilizadas con solución Steiner.

El número de flores por planta en la ornamental *Impatiens* cv. New Guinea incrementó conforme se aumentó la cantidad de FLC recomendada por la casa comercial del fertilizante empleado (Richards & Reed, 2004), esto concuerda con los resultados obtenidos ya que con 200 % de FLC + fertilización complementaria se obtuvo la mayor cantidad de flores.

Con relación al número de bolsas, a los 19 ddt el tratamiento que presentó la mayor cantidad fue 100 % de FLC (10.93) y el resto no presentó diferencias significativas entre sí. A los 26 ddt el tratamiento con menor efecto es la solución Steiner (10.65 bolsas por planta) y el resto tuvieron efecto superior a este pero similar entre ellos. Sin embargo, este comportamiento se modificó a partir de los 33 y hasta los 40 ddt, donde el mayor número de bolsas por planta se obtuvo fertilizando con la solución nutritiva propuesta. A los 54 ddt, los tratamientos sobresalientes fueron 100 % con FLC + fertilización complementaria y 100 % con FLC que presentaron 79.13 y 75.48 bolsas por planta, respectivamente. A los 68 ddt, los tratamientos sobresalientes del resto, pero sin diferencias entre sí fueron 200 % de FLC + fertilización complementaria (73.28 bolsas), 100 % con FLC + fertilización complementaria

(71.78 bolsas) y 100 % con FLC (63.63). De manera consistente el tratamiento con menor efecto fue la solución Steiner, que a los 80 ddt presentó 24.78 bolsas por planta (Cuadro 19).

La aplicación de fertilizantes de liberación controlada en papa (*Solanum tuberosum* L.) produjo mayor cantidad de tubérculos por planta en comparación con la fertilización empleando solución nutritiva o granular al suelo (Kang & Han, 2005), estos resultados fueron similares a lo obtenido ya que la mayor cantidad de bolsas se produjo al aplicar FLC en comparación con las soluciones nutritivas empleadas.

Cuadro 19. Comparación de medias para número de botones florales, flores y bolsas por planta en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

Tratamiento	BOT1	BOT2	BOT3	BOT4	FL1	FL2
200 % FLC + comp	1.98 a ^z	7.90 ab	27.90 ab	55.28 ab	1.35 a	3.93 a
100 % FLC + comp	2.00 a	8.30 a	27.95 ab	62.55 a	1.38 a	3.60 b
200 % FLC	1.90 a	6.43 b	21.98 c	45.10 b	1.20 a	3.23 b
100 % FLC	1.90 a	8.08 a	29.33 a	57.40 ab	1.73 a	3.93 b
SNP	1.95 a	7.28 ab	22.95 bc	44.83 b	1.43 a	5.03 b
Sol. Steiner	1.55 a	3.18 c	6.38 d	14.85 c	1.30 a	3.43 b
DMSH	0.5645	1.5889	5.7076	13.759	0.6132	1.0687
	FL3	FL4	FL5	BOL1	BOL2	
200 % FLC + comp	7.05 a	17.77 a	47.26 a	6.64 b	20.90 a	
100 % FLC + comp	7.50 a	16.55 ab	35.63 ab	7.13 b	21.03 a	
200 % FLC	5.68 ab	15.00 b	33.97 abc	7.60 b	17.49 a	
100 % FLC	6.90 ab	21.58 b	41.73 bc	10.93 a	22.65 a	
SNP	7.33 bc	16.33 b	43.80 c	7.54 b	18.80 a	
Sol. Steiner	4.85 c	6.35 c	17.80 d	6.35 b	10.65 b	
DMSH	39.6610	39.4937	39.4937	39.6610	39.4937	
	BOL3	BOL4	BOL5	BOL6	BOL7	
200 % FLC + comp	40.03 ab	65.33 b	67.72 ab	73.28 a	52.12 a	
100 % FLC + comp	33.63 b	79.40 ab	79.13 a	71.78 a	41.96 a	
200 % FLC	39.33 ab	74.56 ab	56.92 bc	58.84 ab	47.68 a	
100 % FLC	36.95 b	71.00 b	75.48 a	63.63 a	43.58 a	
SNP	45.82 a	88.10 a	65.00 ab	61.00 ab	40.31 ab	
Sol. Steiner	21.95 c	42.83 c	47.13 c	44.72 b	24.78 b	
DMSH ^y	39.4937	39.4937	39.3277	31.1286	25.9744	

FLC + comp: Fertilizante de liberación controlada + fertilizantes complementarios; FLC: Fertilizante de liberación controlada; SNP: Solución nutritiva propuesta; ^yDMSH: Diferencia

Mínima Significativa Honesta; ^zMedias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$); BOT 1, 2, 3 y 4: número de botones florales por planta a los 5, 12, 19 y 26 ddt, respectivamente; FL 1, 2, 3, 4 y 5: número de flores por planta a los 5, 12, 19, 26 y 33 ddt, respectivamente; BOL 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7: número de bolsas por planta a los 19, 26, 33, 40, 54, 68 y 80 ddt, respectivamente.

El Cuadro 20 muestra que a los 23 ddt la solución Steiner tuvo menor efecto al presentar el valor más bajo de unidades SPAD en hojas y que el resto de los tratamientos fueron superiores pero no diferentes entre sí. Sin embargo, a los 68 ddt tuvo el mayor efecto al promover lecturas SPAD mayores en hojas en comparación con el resto de los tratamientos.

En el cultivar Maltaise Ballerin de naranjo (*Citrus aurantium* L.), la fertilización de liberación controlada generó lecturas SPAD mayores en comparación con aquellos árboles donde se usaron fertilizantes convencionales aplicados por fertirriego (El Bey et al., 2021). Esto difiere de los resultados obtenidos donde no hubo diferencias entre el uso de fertilizantes de liberación controlada y las diferentes soluciones nutritivas.

Cuadro 20. Comparación de medias para unidades SPAD en hojas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

Tratamiento	CL1	CL2	CL3	CL4	CL5	CL6
200 % FLC + comp	57.29 a ^z	57.92 a	55.83 a	57.43 a	52.14 b	35.39 a
100 % FLC + comp	55.20 a	58.13 a	54.55 a	52.95 a	50.22 b	38.31 a
200 % FLC	55.55 a	57.18 a	58.82 a	56.01 a	53.31 ab	44.45 a
100 % FLC	54.95 a	58.16 a	55.18 a	54.18 a	53.79 ab	39.44 a
SNP	58.15 a	61.97 a	57.18 a	55.57 a	51.22 b	40.71 a
Sol. Steiner	48.84 b	59.01 a	55.76 a	56.70 a	58.45 a	41.93 a
DMSH^y	19.8261	19.8261	19.8261	19.8261	19.4687	16.8711

FLC + comp: Fertilizante de liberación controlada + fertilizantes complementarios; FLC: Fertilizante de liberación controlada; SNP: Solución nutritiva propuesta; ^yDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; ^zMedias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$); CL 1, 2, 3, 4, 5 y 6: unidades SPAD en hojas a los 23, 34, 40, 54, 68 y 80 ddt, respectivamente.

Con relación al peso fresco de 10 frutos por cosecha, peso fresco promedio, volumen de 10 frutos por cosecha, volumen promedio y peso seco de 10 frutos por cosecha, no hubo diferencias significativas, únicamente en el peso seco promedio se presentaron diferencias entre tratamientos, donde aquellas plantas fertilizadas con solución Steiner tuvieron frutos secos de mayor peso

(18.76 g) y que aquellas cuya fertilización fue con 200 % de FLC + fertilización complementaria presentaron frutos secos de menor peso (14.72 g).

El peso fresco en bulbos de cebolla fue estadísticamente superior al usar fertilizantes de liberación controlada en comparación con fertilizantes solubles (Amans & Slangen, 1994). Esto difiere del peso fresco obtenido en tomate de cáscara donde no hubo diferencias entre el tipo de fertilizantes aplicados.

Variables como el volumen de fruto están determinadas por el genotipo, en la variedad Salamanca de tomate de cáscara se registró el mayor volumen de fruto en comparación con las variedades Rendidora y Milpero de Guerrero (Sahagún-Castellanos et al., 1999). En la presente investigación se observó que la fertilización de liberación controlada en comparación con el uso de soluciones nutritivas no tuvo efecto en el volumen de frutos, esto podría diferir en caso de evaluar el efecto de los FLC en otros genotipos de tomate de cáscara.

El efecto de la fertilización sobre el rendimiento fue notorio en la primera cosecha, donde el tratamiento con la solución nutritiva propuesta tuvo el mejor rendimiento (4.48 kg) en comparación con el resto; comportamiento que se manifestó de igual manera en el rendimiento total obtenido. La fertilización con solución Steiner tuvo el rendimiento más bajo (6.25 kg) en contraste con el resto de los tratamientos (Cuadro 21).

En un estudio realizado en jitomate (*Solanum lycopersicum*) se comparó el uso de fertilizantes solubles contra diferentes dosis de fertilizantes de liberación controlada con urea recubierta, en este caso, la aplicación de fertilizantes solubles condujo a un mayor rendimiento total (Carson et al., 2014). Esto difiere con el rendimiento total obtenido en tomate de cáscara, donde al aplicar la solución nutritiva propuesta el efecto fue estadísticamente igual que cuando se fertilizó con nutrimentos de liberación controlada.

Cuadro 21. Comparación de medias para peso fresco, volumen y peso seco de diez frutos de tomate de cáscara por cosecha y promedio, y rendimiento obtenido por cosecha y total aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada.

Tratamiento	PF1		PF2		PF3		PFP		V1		V2	
200 % FLC + comp	218.50	a ^z	229.50	a	181.00	a	209.67	a	217.50	a	217.50	a
100 % FLC + comp	231.50	a	228.50	a	207.50	a	222.50	a	235.00	a	215.00	a
200 % FLC	234.00	a	231.00	a	216.50	a	227.17	a	227.50	a	222.50	a
100 % FLC	232.00	a	207.00	a	233.00	a	224.00	a	237.50	a	192.50	a
SNP	260.00	a	239.50	a	193.00	a	230.83	a	272.50	a	225.00	a
Sol. Steiner	261.00	a	245.50	a	207.50	a	238.00	a	260.00	a	242.50	a
DMSH	82.0870		99.5610		72.6310		59.1230		81.6920		116.5200	
	V3		VP		PS1		PS2		PS3		PSP	
200 % FLC + comp	162.50	a	199.17	a	17.11	a	16.76	a	10.29	a	14.72	b
100 % FLC + comp	197.50	a	215.83	a	18.34	a	17.71	a	9.91	a	15.32	ab
200 % FLC	195.00	a	215.00	a	17.35	a	17.48	a	12.04	a	15.62	ab
100 % FLC	220.00	a	216.67	a	19.03	a	15.97	a	11.41	a	15.47	ab
SNP	185.00	a	227.50	a	21.85	a	21.54	a	10.92	a	18.10	ab
Sol. Steiner	187.50	a	230.00	a	20.01	a	23.93	a	12.34	a	18.76	a
DMSH	75.8380		63.8810		6.7668		10.7100		5.1672		3.6565	
	REN1		REN2		REN3		RENT					
200 % FLC + comp	2.72	b	1.99	a	1.75	a	6.46	ab				
100 % FLC + comp	2.31	b	3.52	a	1.98	a	7.81	ab				
200 % FLC	3.00	ab	2.20	a	1.27	a	6.47	ab				
100 % FLC	3.48	ab	2.55	a	1.93	a	7.97	ab				
SNP	4.48	a	2.70	a	1.42	a	8.60	a				
Sol. Steiner	3.19	ab	1.96	a	1.10	a	6.25	b				
DMSH ^y	1.6350		2.3847		1.3014		2.2180					

FLC + comp: Fertilizante de liberación controlada + fertilizantes complementarios; FLC: Fertilizante de liberación controlada; SNP: Solución nutritiva propuesta; ^yDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; ^zMedias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$); PF 1, 2 y 3: peso fresco por cosecha; PFP: peso fresco promedio; V 1, 2 y 3: volumen por cosecha, VP: volumen promedio; PS 1, 2 y 3: peso seco por cosecha; PSP: peso seco promedio; REN 1, 2 y 3: rendimiento por cosecha; RENT: rendimiento total.

El Cuadro 22 muestra que en el peso fresco de frutos y área foliar de la primera cosecha no hubo diferencias entre tratamientos; en el caso de peso seco de frutos el tratamiento que presentó el mayor peso seco en frutos fue la solución Steiner con 44.70 g, los tratamientos con 200 % de FLC + fertilización complementaria y 100 % de FLC tuvieron el menor efecto con 12.54 g y 14.25 g, respectivamente.

Para el caso de los datos obtenidos durante la segunda cosecha (peso fresco y seco de frutos y área foliar) no hubo efecto significativo entre tratamientos.

Los valores de área foliar más altos en *Annona cacans* se obtuvieron con dosis entre 4 y 6 g·L⁻¹ de fertilizantes de liberación controlada comparado con los valores obtenidos con dosis más bajas de FLC y un tratamiento control (Smiderle et al., 2020). Este comportamiento difiere de lo obtenido en esta investigación, donde las diferentes dosis de FLC tanto solas como acompañadas de fertilización complementaria y las diferentes soluciones nutritivas no tuvieron efecto diferente sobre esta variable.

Cuadro 22. Comparación de medias para peso fresco y seco de frutos y área foliar en plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) aplicando solución nutritiva y fertilizantes de liberación controlada, primera y segunda cosecha.

Tratamiento	PFF1	PSF1	AF1
200 % FLC + comp	168.20 a ^z	12.54 b	2643.90 a
100 % FLC + comp	214.50 a	29.55 ab	3250.60 a
200 % FLC	316.00 a	35.18 ab	3183.20 a
100 % FLC	165.80 a	14.25 b	1958.80 a
SNP	185.80 a	33.97 ab	2444.90 a
Sol. Steiner	435.50 a	44.70 a	3271.80 a
DMSH	351.9600	24.1080	1774.4000
	PFF2	PSF2	AF2
200 % FLC + comp	171.57 a	13.44 a	4414.30 a
100 % FLC + comp	208.63 a	17.90 a	4248.70 a
200 % FLC	261.18 a	21.57 a	2397.30 a
100 % FLC	300.00 a	26.12 a	4876.80 a
SNP	165.53 a	14.98 a	3254.40 a
Sol. Steiner	159.14 a	15.88 a	2417.80 a
DMSH^y	188.8800	15.4480	3037.1000

FLC + comp: Fertilizante de liberación controlada + fertilizantes complementarios; FLC: Fertilizante de liberación controlada; SNP: Solución nutritiva propuesta; ^yDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; ^zMedias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$); PFF 1 y 2: peso fresco de frutos en la primera y segunda cosecha, respectivamente; PSF 1 y 2: peso seco de frutos en la primera y segunda cosecha, respectivamente; AF 1 y 2: área foliar en la primera y segunda cosecha, respectivamente.

5.4. CONCLUSIONES

Los tratamientos sobresalientes fueron los de 100 % de FLC, ya que generaron plantas con mejor crecimiento y desarrollo en comparación con aquellas fertilizadas con alguna solución nutritiva. De manera general, los tratamientos con FLC tuvieron efecto similar al de la solución nutritiva propuesta.

El rendimiento total obtenido con los fertilizantes de liberación controlada, solos o con fertilización complementaria, fue igual al obtenido con la solución nutritiva propuesta.

La solución Steiner generó el menor efecto al obtener plantas más pequeñas, con menor número de hojas, botones florales, flores y bolsas por planta, además de representar el menor rendimiento total.

Es posible obtener resultados similares con relación a crecimiento y desarrollo de plantas y producción de tomate de cáscara con fertilizantes de liberación controlada, en comparación con soluciones nutritivas.

5.5. LITERATURA CITADA

- Amans, E. B., & Slangen, J. H. G. (1994). The effect of controlled-release fertilizer 'Osmocote' on growth, yield and composition of onion plants. *Fertilizer research*, 37(2), 79-84. doi: 10.1007/BF00748548
- Blaylock, A. (2003). *Controlled release fertilizer: Research summary 2000-2002*. Agrium U.S.
- Jaime, C. F. E., Castro, G. J. W. & Orlando, L. D. A. (2019). Impacto ambiental provocado por el inadecuado uso de fertilizantes químicos en cultivos de maíz. UNESUM-Ciencias. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 3(1), 61-72. doi: 10.47230/unesum-ciencias.v3.n1.2019.128
- Carson, L. C., Ozores-Hampton, M., Morgan, K. T., & Sargent, S. A. (2014). Effects of controlled-release fertilizer nitrogen rate, placement, source, and release duration on tomato grown with seepage irrigation in Florida. *HortScience*, 49(6), 798-806. doi: 10.21273/HORTSCI.49.6.798
- El Bey, N., Aounallah, M. K., Chammam, M. R., & Bettaieb, T. (2021). Effect of controlled-release fertilizers (CRF) on vegetative growth, nutritional status, fruit yield and quality of 'Maltaise Ballerin' orange trees. *Plant Physiology Reports*, 26(4), 699-708. doi: 10.1007/s40502-021-00622-z

- Haver, D. L., & Schuch, U. K. (1996). Production and postproduction performance of two new guinea impatiens cultivars grown with controlled-release fertilizer and no leaching. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(5), 820-825. doi: 10.21273/JASHS.121.5.820
- Kang, B. K., & Han, S. H. (2005). Production of seed potato (*Solanum tuberosum* L.) under the recycling capillary culture system using controlled release fertilizers. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 74, 295-299. doi: 10.2503/jjshs.74.295
- Melgar, R. (2005). Taller internacional de fertilizantes de eficiencia mejorada. En línea. Alemania. Consultado el 15 de abril del 2020. Disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/Nuevos%20Productos%20Fertilizantes.asp>.
- Murugan, P., Ong, S. Y., Hashim, R., Kosugi, A., Arai, T., & Sudesh, K. (2020). Development and evaluation of controlled release fertilizer using P (3HB-co-3HHx) on oil palm plants (nursery stage) and soil microbes. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 28, 101710. doi: 10.1016/j.bcab.2020.101710
- Narváez, T. L. (2008). Efecto de la utilización de diferentes estrategias de fertilización sobre las pérdidas de Nitrógeno por lixiviación y la productividad en un cultivo en contenedor y al exterior de *Viburnum tinus* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Palm, C.; Blanco-Canqui, H.; DeClerck, F.; Gatere, L., & Grace, P. (2014). Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187, 87-105. doi: 10.1016/j.agee.2013.10.010
- Peña-Lomelí, A., Ponce-Valerio, J. J., Sánchez-del-Castillo, F., & Magaña-Lira, N. (2014). Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 381-391.
- Richards, D. L., & Reed, D. W. (2004). New Guinea impatiens growth response and nutrient release from controlled-release fertilizer in a recirculating subirrigation and top-watering system. *HortScience*, 39(2), 280-286. doi: 10.21273/HORTSCI.39.2.280
- Sahagún-Castellanos, J., Gómez-Ruiz, F., & Peña-Lomelí, A. (1999). Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5(1), 23-27.
- Shoji, S., & Gandeza, A. T. (1992). *Controlled release fertilizers with polyolefin resin coating*. Konno Printing Co.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). Consultado 15-agosto-2021 en: <http://www.siap.gob.mx>
- Smiderle, O. J., Souza, A. D. G., & Menegatti, R. D. (2020). Controlled-Release Fertilizer in the Production of Seedlings of *Annona cacans* Warm. *Embrapa Roraima-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.

Steiner, A. A. (1984). The universal solution. Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, The Netherlands. pp. 633-649.