

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES –IIA-**



DESCRIPCIÓN DE LA DINÁMICA DE ABSORCIÓN NUTRIMENTAL EN EL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum L. híbrido Silverado*), BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DOCENTE DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA (CEDA), GUATEMALA, C.A.

ASTRID VICTORIA CRISTINA HERNANDEZ ARCHILA

GUATEMALA, OCTUBRE 2015

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES –IIA-**

DESCRIPCIÓN DE LA DINÁMICA DE ABSORCIÓN NUTRIMENTAL EN EL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum L. híbrido Silverado*), BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DOCENTE DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA (CEDA), GUATEMALA, C.A.

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

ASTRID VICTORIA CRISTINA HERNANDEZ ARCHILA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERA AGRÓNOMA

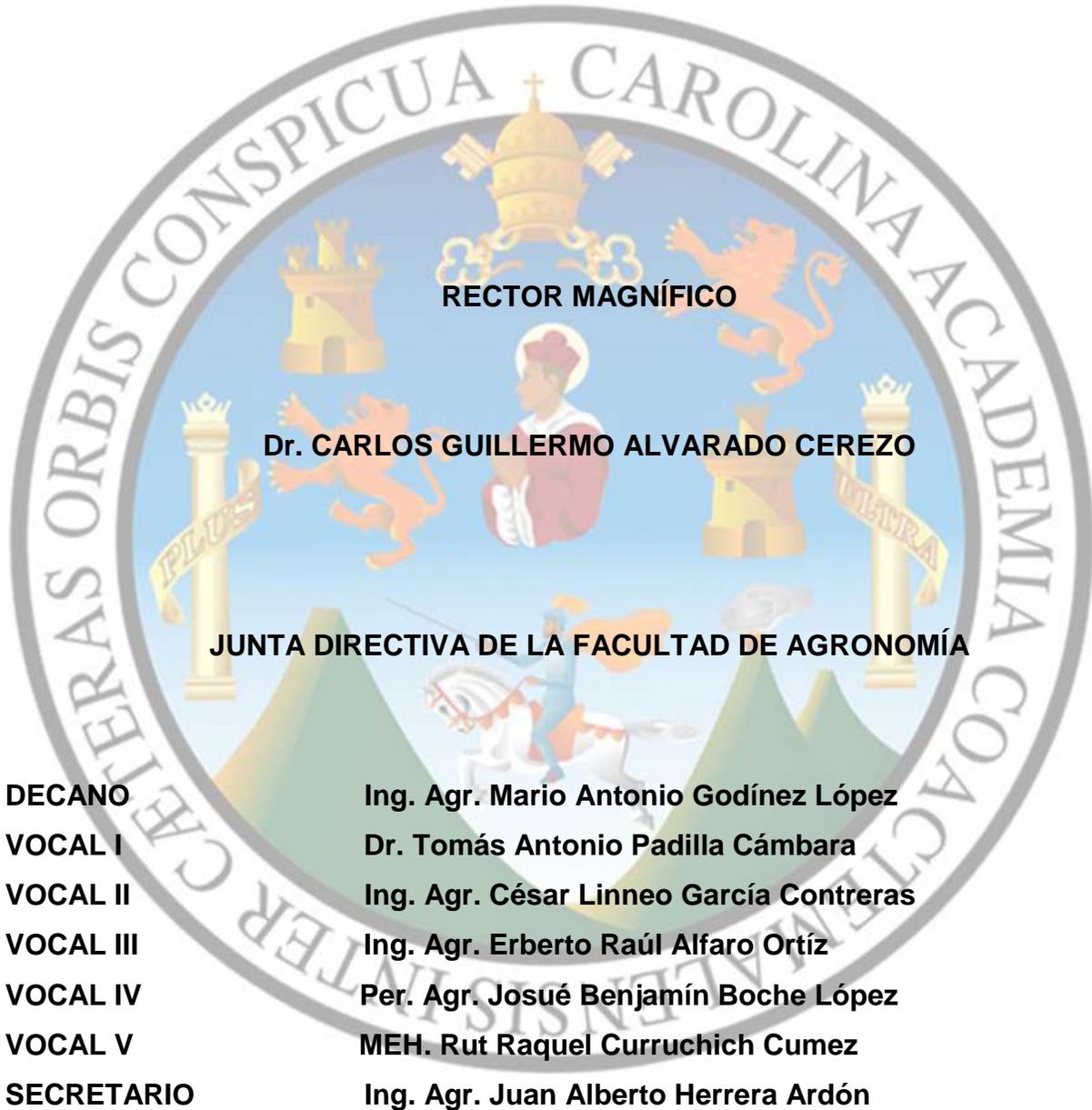
EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA, OCTUBRE 2015

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



RECTOR MAGNÍFICO

Dr. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO

Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López

VOCAL I

Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara

VOCAL II

Ing. Agr. César Linneo García Contreras

VOCAL III

Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz

VOCAL IV

Per. Agr. Josué Benjamín Boche López

VOCAL V

MEH. Rut Raquel Curruchich Cumez

SECRETARIO

Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, OCTUBRE DEL 2015

Guatemala, octubre del 2015

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado: “Descripción de la dinámica de absorción nutrimental en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L. híbrido silverado), bajo condiciones de invernadero en el Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA), Guatemala, C.A.”, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Astrid Victoria Cristina Hernandez Archila

ACTO QUE DEDICO A:

Dios: Por regalarme el milagro de la vida y darme la fortaleza necesaria para recorrer el camino de la profesión que elegí. Jesús dijo Pidán, y se les dará; busquen, y encontrarán; llamen, y se les abrirá. Le pedí por mi futuro y puso en mi camino la profesión más noble que jamás ha existido.

Mis padres: Estuardo y Marisol, por su amor, paciencia, apoyo incondicional, constantes consejos, por soportar mis ausencias; por ser un gran ejemplo a seguir y guiar mis pasos en cada etapa de mi vida. Este logro es su logro, y fruto de nuestro esfuerzo.

Mis abuelos: Cristina y Francisco, por creer en mí y brindarme su amor así como sus consejos.

Mis hermanos: Johana y Jonathan, el regalo más grande que la vida me ha dado; por su amor, apoyo y fe en mí, sin duda alguna no hay amigo más unido que un hermano.

Mi mejor amigo: Samuel, por tu amistad incondicional, por el sueño que iniciamos juntos y hoy se vuelve realidad. Dos son mejor que uno, porque sacan más provecho de sus afanes. Si uno de ellos se tropieza, el otro lo levanta (Eclesiastés 4:9-10).

Mi apreciado amigo: Mike, por tu cariño y amistad incondicional; porque hay amigos que no son amigos, y hay amigos que son más que hermanos (Proverbios 18:24).

Hagan lo que hagan, trabajen de buena gana, como para el señor y no como para nadie en este mundo, conscientes de que el señor los recompensará con la herencia (Colosenses 3:23-24).

AGRADECIMIENTOS

Nada de lo que vale la pena hacer puede hacerse solo, sino que debe hacerse en colaboración con otros, mis sinceros agradecimientos a:

La Escuela Nacional Central de Agricultura y la Facultad de Agronomía, por ser como mi segundo hogar y brindarme el sustento académico necesario para llegar a culminar esta meta tan anhelada.

Mi amiga Cony, por darme el empujoncito con el cual inicie este sueño.

Al laboratorio de Suelo-Planta-Agua "Salvador Castillo Orellana", por su valioso apoyo en la fase de análisis químicos de laboratorio.

La empresa agrícola el sol, por colaborar con los productos biológicos necesarios para el control de plagas y enfermedades, durante el ciclo del cultivo.

Dr. Aníbal Sacbajá, por sus consejos, amistad, orientación y ayuda incondicional para realizar esta investigación.

Mis amigos Waldemar y Baltazar Nufio, por su amistad, cariño y consejos brindados a lo largo de mi vida académica.

Mi querido amigo Oswaldo Orellana, por su valiosísima amistad, cariño, tiempo, por esos consejos que con tanto aprecio me brindó.

Cuando una puerta se cierra otra se abre, gracias por creer en mí y brindarme su apoyo incondicional y confianza, Dr. Dimitri Santos; su colaboración fue indispensable para la elaboración de esta investigación, pero sobre todo gracias por su valiosa amistad.

Vivan en armonía los unos con los otros. No sean arrogantes, sino háganse solidarios con los humildes. No se crean los únicos que saben (Romanos 12:16).

Índice general

Contenido	Página
1. Introducción.....	1
2. Marco teórico	4
2.1. Marco conceptual.....	4
2.1.1. Antecedentes del cultivo de tomate	4
2.1.2. Caracteres botánicos.....	4
2.1.3. Taxonomía.....	6
2.1.4. Fenología del cultivo de tomate.....	7
2.1.5. Valor nutritivo del tomate	7
2.1.6. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de tomate	8
2.1.7. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción	9
2.1.8. Plagas y enfermedades	10
2.1.9. Importancia económica del tomate a nivel mundial	12
2.1.10. Aspectos productivos a nivel nacional.....	16
2.1.11. Curvas de crecimiento.....	17
2.1.12. Estudios de absorción de nutrientes	19
2.1.13. Antecedentes del tema de investigación	25
2.2. Marco referencial	26
2.2.1. Localización.....	26
2.2.2. Clima del CEDA.....	26
2.2.3. Zona de vida.....	27
2.2.4. Suelo del invernadero.....	27
2.2.5. Características del invernadero	29
3. Objetivos	30
3.1. General:	30
3.2. Específicos.....	30
4. Metodología	31
4.1. Material experimental	31
4.2. Características físicas y químicas del suelo.....	31
4.3. Parcela de trabajo	32
4.4. Muestreo de plantas.....	33
4.5. Manejo del cultivo	34
4.5.1. Preparación del terreno	34

4.5.2.	Distanciamiento de siembra	34
4.5.3.	Tutorado	34
4.5.4.	Deshije	34
4.5.5.	Control de malezas	35
4.5.6.	Control de plagas y enfermedades.....	35
4.5.7.	Riego y fertilización	35
4.5.8.	Cosecha	36
4.5.9.	Variables de respuesta.....	36
5.	Resultados y discusión	38
5.1.	Biomasa.....	38
5.1.1.	Materia fresca.....	38
5.1.2.	Materia seca.....	38
5.2.	Curvas de absorción de nutrientes	40
5.2.1.	Absorción de macronutrientes primarios (N, P, K).....	40
5.2.2.	Absorción de macronutrientes secundarios (Ca, Mg).....	45
5.2.3.	Absorción de micronutrientes (Cu, Fe, Zn y Mn)	48
6.	Conclusiones	54
7.	Recomendaciones	55
8.	Bibliografía.....	56
9.	Anexos.....	63

Índice de cuadros

Cuadro	Página
Cuadro 1. Valor nutritivo medio del tomate por 100 g de fruto	8
Cuadro 2. Cantidad de nutriente absorbido y extraído	10
Cuadro 3. Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate (t ha ⁻¹)	10
Cuadro 4. Plagas más comunes que atacan al cultivo	10
Cuadro 5. Enfermedades que afectan al cultivo.....	11
Cuadro 6. Producción mundial de tomate en miles de toneladas.....	13
Cuadro 7. Países importadores de tomate a nivel mundial (2010).....	15
Cuadro 8. Países exportadores de tomate a nivel mundial (2010).....	15
Cuadro 9. Área, producción y rendimiento de tomate en Guatemala.....	16
Cuadro 10. Comercio exterior, período 2005/2014	17
Cuadro 11. Análisis físico del suelo.....	31
Cuadro 12. Análisis químico de suelo	32
Cuadro 13. Muestreos por etapa fenológica.....	33
Cuadro 14. Concentraciones de los elementos en la solución nutritiva	36
Cuadro 15. Métodos de determinación para la cuantificación de elementos	37
Cuadro 16. Peso de materia fresca y seca por planta en el ciclo del cultivo de tomate híbrido silverado	38
Cuadro 17. Acumulación de materia seca en el cultivo de tomate híbrido silverado	39
Cuadro 18. Absorción total de macro y micronutrientes en el cultivo de tomate híbrido silverado	52
Cuadro 19. Recomendación de aplicación de nutrientes	55
Cuadro 20A. Rangos de suficiencia nutricional en las hojas tomate	66
Cuadro 21A. Registros climáticos del invernadero.....	66
Cuadro 22A. Absorción de elementos primarios	67
Cuadro 23A. Absorción de macroelementos secundarios.....	68
Cuadro 24A. Absorción de elementos menores.....	69

Índice de figuras

Figura	Página
Figura 1. Fenología del cultivo de tomate	7
Figura 2. Consumo mundial per cápita de tomate	14
Figura 3. Distribución de la producción a nivel nacional en %	16
Figura 4. Curva de crecimiento de cultivos anuales.....	18
Figura 5. Curva de crecimiento de cultivos perennes	18
Figura 6. Taxonomía de suelos del CEDA	28
Figura 7. Parcela de trabajo.....	33
Figura 8. Curva de acumulación de materia seca del cultivo de tomate híbrido silverado .	40
Figura 9. Curva de absorción de nitrógeno en el cultivo de tomate híbrido silverado	41
Figura 10. Curva de absorción de fósforo en el cultivo de tomate híbrido silverado	43
Figura 11. Curva de absorción de potasio en el cultivo de tomate híbrido silverado.....	44
Figura 12. Curva de absorción de calcio en el cultivo de tomate híbrido silverado	46
Figura 13. Curva de absorción de magnesio en el cultivo de tomate híbrido silverado.....	47
Figura 14. Curva de absorción de cobre en el cultivo de tomate híbrido silverado	48
Figura 15. Curva de absorción de zinc en el cultivo de tomate híbrido silverado	49
Figura 16. Curva de absorción de hierro en el cultivo de tomate híbrido silverado	50
Figura 17. Curva de absorción de manganeso en el cultivo de tomate híbrido silverado ..	51
Figura 18. Porcentajes de absorción de nutrientes por etapa en el cultivo de tomate híbrido silverado	53
Figura 19A. Preparación de suelo.....	63
Figura 20A. Muestreo de suelo	63
Figura 21A. Tutorado del cultivo de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.), híbrido silverado	64
Figura 22A. Floración y fructificación del cultivo de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.), híbrido silverado.....	64
Figura 23A. Muestreo	65
Figura 24A. Cosecha del cultivo de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.), híbrido silverado	65
Figura 25A. Registro de temperatura y humedad del invernadero	66

DESCRIPCIÓN DE LA DINÁMICA DE ABSORCIÓN NUTRIMENTAL EN EL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L. híbrido Silverado), BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DOCENTE DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA (CEDA), GUATEMALA, C.A.

DYNAMIC DESCRIPTION OF NUTRIENT ABSORPTION IN THE CULTIVATION OF TOMATO (*Solanum lycopersicum* L. hybrid Silverado), UNDER GREENHOUSE CONDITIONS IN THE EXPERIMENTAL TEACHING IN THE CENTER OF THE SCHOOL OF AGRONOMY (CEDA), GUATEMALA, C.A.

Resumen

En el Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA), se describió la dinámica de absorción nutrimental del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado, en la cual se obtuvo mediante ocho muestreos a lo largo de 120 días, el contenido de macro y micronutrientes en los órganos de la planta: raíz, tallo, hojas, flores y fruto; en base a la concentración de estos nutrimentos y el peso seco en cada órgano de la planta, se obtuvieron las curvas de absorción de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe y Mn así como la demanda de extracción para este híbrido; con las cuales se determinó las cantidades mínimas a las que debe tener acceso el cultivo por etapa fenológica.

El híbrido fue sembrado bajo condiciones de invernadero dentro del cual la temperatura media fue de 29°C, así mismo la humedad relativa media fue de 35%; en un suelo perteneciente al orden alfisol, de textura franco arcillo arenoso, con pH moderadamente ácido; con baja concentración de cobre y porcentaje de saturación de bases menor al rango adecuado; un suelo con fertilidad potencialmente alta. Se utilizó un sistema de riego por goteo, diario, durante treinta minutos; una vez a la semana se aplicó en el riego 320 litros de solución nutritiva la cual contenía N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn y Mo.

La solución nutritiva se formuló sin considerar las características físicas y químicas del suelo; debido a que según Bertsch, la capacidad de absorción de un cultivo bajo condiciones nutricionales limitantes se reduce y esta es la razón para que los estudios de absorción deban conducirse bajo condiciones nutricionales óptimas; así mismo para que

los resultados de un estudio de absorción resulten extrapolables a otras situaciones es necesario que se conduzcan bajo condiciones nutricionales óptimas, con variedades definidas asociadas a un rendimiento dado.

Con base en la curva de crecimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L. híbrido silverado), se determinó que en la etapa de fructificación se generó el 77% del total de la materia seca. El 86% de la materia seca total fue generada por frutos y las hojas. En base a las curvas de absorción, se determinó que en la fase vegetativa el cultivo utilizó el 10% de los macronutrientes y el 15% de los micronutrientes. Durante la fase de floración, el 25% de macronutrientes primarios, el 40% de calcio, magnesio y zinc, 50% de hierro y cobre así como el 80% de manganeso. En la etapa de fructificación el 65% de macronutrientes primarios, el 50% de macronutrientes secundarios, el 45% de zinc, 35% de hierro y cobre, así como el 5% de manganeso.

Para una densidad de 40,000 plantas por hectárea, y rendimiento de 78.4 t ha⁻¹, a los 120 días después del trasplante, el híbrido silverado extrajo: 318.89 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 295.12 kg ha⁻¹ de potasio, 127.88 kg ha⁻¹ de calcio, 35.5 kg ha⁻¹ de fósforo, 30.83 kg ha⁻¹ de magnesio, 0.98 kg ha⁻¹ de hierro, 0.26 kg ha⁻¹ de zinc, 0.19 kg ha⁻¹ de manganeso y 0.08 kg ha⁻¹ de cobre.

1. Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), es la hortaliza más importante a nivel mundial, con una superficie de cultivo que ronda los 2.5 millones de hectáreas, cuyo consumo es de 6.1 kilogramos per cápita para el año 2014. En el año 2014, en el país se produjo 35.85 t ha⁻¹; para los productores dichos rendimientos no cumplen con las expectativas debido a que están por debajo de lo esperado; ya que las tecnologías de producción practicadas no implican el uso de herramientas como análisis de suelos, requerimientos nutricionales de la variedad o híbrido utilizado (MAGA, 2015).

El híbrido de tomate silverado, llega a producir entre 65-75 t ha⁻¹ (Donis, 2015); rendimiento que productores guatemaltecos no logran alcanzar, tal es el caso de Orellana (20 de diciembre, 2014). Municipio de Parramos, departamento de Chimaltenango, Guatemala; expresa que en conjunto con otros productores, aplican al cultivo del híbrido silverado, 519 kg ha⁻¹, de triple 15, para todo el ciclo, con lo cual obtienen un rendimiento de 51.5 t ha⁻¹. Así mismo, Chiroy (15 de febrero, 2015). Municipio de Gualán, departamento de Zacapa, Guatemala; indicó que siembra el híbrido Llanero, aplicando 450 kg ha⁻¹ de triple quince y urea mensualmente con lo que obtiene un rendimiento de 45 t ha⁻¹; García (05 de mayo, 2015). Municipio de Salamá, departamento de Baja Verapaz, Guatemala; expresa que en conjunto con otros productores, aplican al cultivo del híbrido silverado, 500 kg ha⁻¹ de triple 15, para todo el ciclo, con lo cual obtienen un rendimiento de 49 t ha⁻¹.

En Guatemala, no se ha generado información sobre la dinámica de nutrientes en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), lo cual induce a productores a utilizar mayores cantidades de insumos agrícolas y la aplicación de fertilizantes en momentos en que la planta no los requiere, lo cual tiene como consecuencia directa el uso excesivo de fertilizantes, alteración del equilibrio de los ecosistemas por la contaminación, bajos rendimientos, baja rentabilidad y calidad de las cosechas.

Lo citado anteriormente y la carencia de información nutricional específica, justifica la necesidad de realizar estudios de demanda nutricional en el cultivo de tomate (*Solanum*

lycopersicum L.), que contabilicen los requisitos de cosecha y el consumo de nutrientes real que demanda el cultivo para completar su ciclo de producción. Las curvas de absorción son parte de estos estudios que permiten conocer la demanda de nutrientes de acuerdo con las etapas fenológicas del cultivo, útiles para establecer programas de fertilización que permitan un ajuste más preciso, con el fin de maximizar la eficiencia de los fertilizantes, minimizar costos de producción, alcanzando un máximo desempeño del cultivar utilizado respecto a rendimiento, calidad y por ende contribuyendo a la mejora de la economía de productores dedicados a este cultivo.

Para lograr la máxima expresión del potencial productivo de los genotipos de tomate, cualquiera que sea éste, es importante generar y aplicar prácticas de manejo del cultivo que contribuyan a aprovechar al máximo los insumos utilizados durante su ciclo productivo; dentro de dicho contexto el manejo de la nutrición de las plantas es un factor indispensable desde el punto de vista fisiológico y económico, ya que se le considera como el factor de producción más importante después de la disponibilidad de agua.

Los estudios de demanda nutrimental contabilizan los requisitos de cosecha, la extracción total o el consumo de nutrimentos que efectúa un cultivo en particular para completar su ciclo de producción.

Las curvas de extracción son parte de estos estudios y permiten el conocimiento de la demanda de nutrimentos de acuerdo con la etapa fenológica de un cultivo; son muy útiles para establecer programas de fertilización ya que permiten un ajuste más preciso con el fin de maximizar la eficiencia de la fertilización en el ciclo del cultivo especialmente si se acompaña de la técnica del fertirriego.

Con base en las curvas de absorción, se han sugerido numerosos programas de fertilización confiables en cultivos de alto valor económico entre ellos el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), (Bertsch, 2005).

El objetivo de dicha investigación fue describir la dinámica de nutrientes en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L. híbrido silverado), por medio de la elaboración de las curvas de absorción de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn; con las cuales se determinó las cantidades mínimas a las que debe tener acceso el cultivo por etapa fenológica, para producir un rendimiento de 78.4 toneladas de fruto por hectárea, a los 120 días después del trasplante en campo definitivo.

La fase de campo de dicho estudio fue realizado en el Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA), de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC-, bajo condiciones de invernadero dentro del cual la temperatura media fue de 29°C, así mismo la humedad relativa media fue de 35%. El riego fue diario y el fertirriego semanal. El híbrido fue sembrado directamente al suelo; el cual taxonómicamente pertenece al orden alfisol, de textura franco arcillo arenoso, con pH moderadamente ácido y fertilidad potencialmente alta.

2. Marco teórico

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Antecedentes del cultivo de tomate

El tomate, o *Solanum lycopersicum* L., es una planta cuyo origen se localiza en Sudamérica y más concretamente en la región andina, aunque posteriormente fue llevado por los distintos pobladores de un extremo a otro, extendiéndose por todo el continente (Rodríguez, 1997).

Su nombre deriva de la lengua náhuatl de México, donde se le llamaba tomatl. La planta fue aceptada durante mucho tiempo en Europa como ornamental, dado que se la creía venenosa. El alcaloide causante de la pretendida toxicidad es la tomatina, que se encuentra principalmente en las hojas y en el fruto verde, pero que se degrada al madurar (Rodríguez, 1997).

Superada la primera fase que se mencionó anteriormente, su cultivo y consumo ha alcanzado tal difusión que difícilmente puede encontrarse otro producto agrícola que sea consumido en tales cantidades. Sin embargo, en contra de la creencia generalizada, su contenido en componentes dietéticos no es demasiado importante. (Rodríguez, 1997).

2.1.2. Caracteres botánicos

El tomate es una planta perteneciente a la familia de las solanáceas, denominada científicamente hasta no hace mucho *Lycopersicum esculentum* L. es potencialmente perenne y muy sensible a las heladas lo que determina su ciclo anual, de distinta duración según la variedad (Rodríguez, 1997).

2.1.2.1. Raíz

El sistema radicular de la planta presenta una raíz principal, pivotante que crece unos 3 centímetros al día hasta que alcanza los 60 centímetros de profundidad, simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen. Sin embargo, este sistema radicular, que es el que surge cuando la planta se origina en una semilla, puede ser modificado por las prácticas

culturales, y así cuando la planta procede de un trasplante, la raíz pivotante desaparece siendo mucho más importante el desarrollo horizontal (Rodríguez, 1997).

2.1.2.2. Tallo

El tallo es erguido durante los primeros estadios de desarrollo pero pronto se tuerce a consecuencia del peso. Puede llegar hasta los 2.5 metros de longitud. Su superficie es angulosa, provista de pelos agudos y glándulas que desprende un líquido de aroma muy característico. En sección presenta una epidermis provista de estomas, una corteza formada por parénquima y tejido de sostén en forma de anillo continuo (Rodríguez, 1997).

2.1.2.3. Hoja

Las hojas, compuestas, se insertan sobre los diversos nudos, en forma alterna. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once foliolos. Al igual que el tallo están provistas de glándulas secretoras de la citada sustancia aromática (Rodríguez, 1997).

2.1.2.4. Flor

Las flores se presentan formando inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara; pudiendo llegar a tener hasta 50 flores por inflorescencia (Rodríguez, 1997).

Normalmente, el tipo simple se encuentra en la parte baja de la planta, predominando el tipo de compuesto en la parte superior. Se precisan de 56 a 76 días desde el nacimiento de la planta hasta que se inician los botones florales. Experimentalmente se ha conseguido anticipar de dos o cinco semanas la floración tratando las plantitas durante 1 a 3 semanas con temperaturas de 10 a 16°C (Rodríguez, 1997).

Cuando las inflorescencias se producen alternando con cada hoja o dos hojas se dice que la planta es de crecimiento determinado; si la alternancia es más espaciada la planta se dice de crecimiento indeterminado. Normalmente, entre las primeras predomina la precocidad y el porte bajo y las segundas son más tardías y de porte alto (Rodríguez, 1997).

La flor está formada por un pedúnculo corto, el cáliz es gamosépalo, es decir, con los sépalos soldados entre sí, y la corola gamopétala. El androceo tiene cinco o más estambres adheridos a la corola, con las anteras que forman un tubo. El gineceo presenta de dos a treinta carpelos que al desarrollarse darán lugar a los lóculos o celdas del fruto (Rodríguez, 1997).

2.1.2.5. Fruto

El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopina y carotina, en distintas y variables proporciones. Su forma puede ser redondeada, achatada o en forma de pera, y su superficie lisa o asurcada, siendo el tamaño muy variable según las variedades. En sección transversal se aprecian en el la piel, la pulpa firme, el tejido plancenterio y la pulpa gelatinosa que envuelve a las semillas (Rodríguez, 1997).

2.1.2.6. La semilla

Las semillas son grisáceas, de forma oval, aplastada y de 3 a 5 mm de diámetro. La superficie está cubierta de vellosidades, pequeñas escamas y restos del tegumento externo que las revestía. En un gramo hay de 300 a 350 semillas. En ocasiones el fruto carece de semillas (apirenia), pudiendo provocarse este fenómeno artificialmente rociando con distintos productos las flores antes de su polinización. La semillas conserva su poder germinativo durante 4 o más años si se la mantiene en condiciones adecuadas (Rodríguez, 1997).

2.1.3. Taxonomía

Origen: Sudamérica

Nombre común: tomate

Clase: Dicotyledonea

Orden: Solanales

Familia: Solanáceas

Subfamilia: Solanoideae

Nombre científico: *Solanum lycopersicum*

Especie: *Solanum lycopersicum* L.

2.1.4. Fenología del cultivo de tomate

La duración del ciclo del cultivo del tomate está determinada por la variedad y por las condiciones climáticas de la zona en la cual se establece el cultivo. La fase de desarrollo vegetativo de la planta, comprende cuatro subetapas que se inician desde la siembra, seguida de la germinación; posteriormente la formación de hojas verdaderas y finalmente el trasplante a campo, con una duración aproximada de 30 a 35 días (CORPOICA, 2006).

Posteriormente se produce la fase reproductiva que incluye las etapas de floración, de formación del fruto y de llenado de fruto, hasta la madurez para su cosecha. La etapa reproductiva tiene una duración de 180 días, aproximadamente. El ciclo total del cultivo es de aproximadamente entre seis a siete meses depende del lugar donde se cultive (CORPOICA, 2006). En la figura 1, se observa cada una de las etapas fenológicas del cultivo.

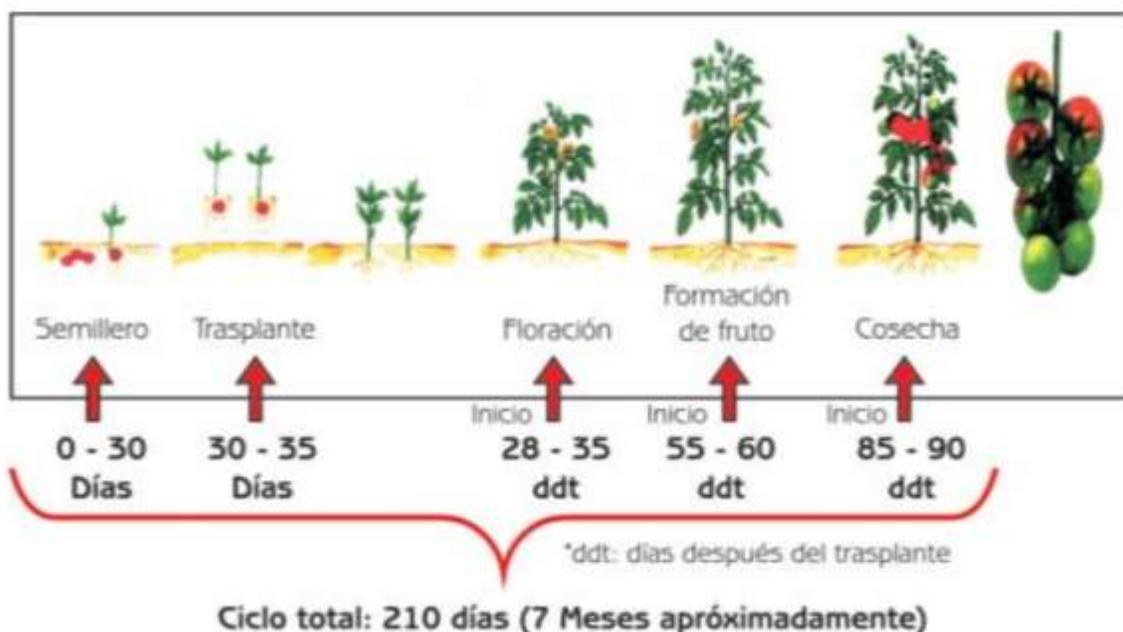


Figura 1. Fenología del cultivo de tomate

Fuente: (BOTANICAL, 2012)

2.1.5. Valor nutritivo del tomate

El valor nutritivo del tomate no es muy elevado. Según un estudio realizado por Stevens (1974), como se mencionó anteriormente; sobre las principales frutas y hortalizas de EE.UU, el tomate ocupa el lugar 16 en cuanto a concentración relativa de un grupo de 10

vitaminas y minerales. No obstante, su popularidad, demostrada por el alto nivel de consumo a nivel mundial convierte a este cultivo en una de las principales fuentes de vitaminas y minerales en muchos países (Nuez, 1999), como se aprecia en el cuadro 1.

Cuadro 1. Valor nutritivo medio del tomate por 100 g de fruto

Vitaminas y minerales	Valor
Residuos	6.00%
Materia seca	6.2 g
Energía	20.0 kcal
Proteínas	1.2 g
Fibra	0.7 g
Calcio	7.0 mg
Hierro	0.6 mg
Caroteno	0.5 mg
Tiamina	0.06 mg
Riboflavina	0.04 mg
Niacina	0.6 mg
Vitamina C	23.00 mg
Valor nutritivo medio (VNM)	2.39 g
VNM por 100 g de materia seca 38.5	

Fuente: (Nuez, 1999)

2.1.6. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de tomate

El manejo de los factores edafoclimáticos debe de hacerse de forma conjunta para el funcionamiento adecuado del cultivo. Todos los factores que se describirán a continuación se relacionan estrechamente entre sí y la actuación sobre uno de éstos incide sobre el resto (Rodríguez, 1997).

2.1.6.1. Exigencias climáticas

A. Altitud

El tomate puede cultivarse desde los 20 a los 2000 msnm, tomando en cuenta la capacidad de adaptación de cada variedad o híbrido (CORPOICA, 2006).

B. Temperatura

La temperatura óptima de desarrollo oscila entre los 20 y 30 °C, durante el día y entre 15 y 17 °C durante la noche. Temperaturas superiores a los 25 °C, e inferiores a los 12 °C, la

fecundación es defectuosa o nula. La maduración del fruto está muy influida por la temperatura, tanto en la precocidad como en la coloración. Valores cercanos a los 10 °C, así como superiores a los 30 °C originan tonalidades amarillentas (CORPOICA, 2006).

C. Humedad

La humedad relativa óptima oscila entre los 60 y 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando algunas flores (Rodríguez, 1997).

D. Luminosidad

Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad (Rodríguez, 1997).

2.1.6.2. Exigencias de suelos

La planta de *S. lycopersicum* L., se desarrolla en diferentes condiciones de suelo, aunque prefiere los suelos sueltos como franco y franco-arcilloso, ricos en materia orgánica y bien drenados, con una profundidad no menor a los 50 centímetros. En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos para su producción (Rodríguez, 1997).

2.1.7. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción

Dependiendo de las condiciones concretas de cada caso (fertilidad del suelo, clima, tipos de riego, etc.), la fertilización del tomate varía notablemente. El análisis previo del suelo es necesario. En general, los fertilizantes se aplican según las extracciones estimadas del cultivo. Aunque la variabilidad de extracciones es enorme y están influidas por el tipo de poda seguido y, especialmente por el momento del corte de brotes axilares por lo cual es recomendable el deshije o deschuponado como se le llama en Guatemala para evitar extracciones poco útiles al cultivo (Nuez, 1999). La absorción total y la extracción de nutrientes en órganos cosechables del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Cantidad de nutriente absorbido y extraído

Órgano cosechable	Absorción total (kg ha ⁻¹)						Extracción (kg ha ⁻¹)						Rendimiento
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S	
Fruto	2.8	0.4	4.5	2.8	0.7	0.9	1.9	0.2	3.1	0.1	0.1	0.1	1 t ha ⁻¹

Fuente: (Ciampitti & García, 2015)

De manera general los requerimientos nutricionales en cuanto a nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio se refieren en el cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum L.*), para un rendimiento de 154 toneladas, se indican en el cuadro 3.

Cuadro 3. Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate (t ha⁻¹)

Condiciones	N	P	K	Ca	Mg	Rendimiento
Invernadero	370	63	560	205	67	154 ton ha ⁻¹
Campo abierto	136	24	192	240	22	
Hidroponía	245	39	400	240	55	

Fuente: (Fertilizer, 2015)

2.1.8. Plagas y enfermedades

En el cuadro 4, se indican las plagas que comúnmente atacan al cultivo de *S. lycopersicum L.*, los daños que ocasiona, y los posibles controles químicos.

2.1.8.1. Plagas

Cuadro 4. Plagas más comunes que atacan al cultivo

Nombre común	Nombre científico	Daño	Control químico (I.A.)
Ácaro del bronceado	<i>Aculops lycopersici</i>	Órganos afectados de color verde aceitoso, frutos con roña.	Amitraz, Azufre, Dienocloro, Endosulfan.
Araña roja	<i>Tetranychus urticae</i>	Decoloraciones en el haz y envez de las hojas.	Dienocloro, Bifentín, Azúfre, Amitraz y Avermectina.

Continuación cuadro 4

Nombre común	Nombre científico	Daño	Control químico (I.A.)
Mosca blanca	<i>Trialeurodes vaporarum</i> y <i>Bemisia tabaci</i>	Decoloraciones en el follaje y frutos así como transmisión de virus.	Cipermetrín, Metomilo, Endosulfan.
Pulgones	<i>Myzua persicae</i> <i>Aphis gossypii</i>	Trasmiten virus, reducen el desarrollo de la planta, amarillamientos en las partes afectadas.	Piretroides, Acefato, Imidacloprid, Malatión, Heptenofos.
Minadores de las hojas	<i>Liriomyza</i> spp. <i>Liriomyza trifolii</i> <i>Liriomyza huidobrensis</i>	Galerías blanquecinas en las hojas.	Avermectina, Pirazofos, Acefato, Piretroides, Ciromazina.
Orugas	<i>Heliothis armigera</i> <i>Autographa gamma</i> <i>Spodoptera exigua</i>	Consumen las hojas, muerden frutos.	Bacillus thuringiensis, Cloripifos, Triclorfón.

Fuente: (Nuez, 1999)

2.1.8.2. Enfermedades

En el cuadro 5, se indica las enfermedades que comúnmente atacan al cultivo de tomate, (*S. lycopersicum* L), así como sus respectivos síntomas.

Cuadro 5. Enfermedades que afectan al cultivo

Nombre común	Nombre científico	Síntomas
Ceniza u Oidio	<i>Laveillula taurica</i>	Manchas amarilla en el haz necrosadas en el medio, polvillo en el envés.
Botritis	<i>Botrytis cinerea</i>	Lesiones pardas en hojas y flores, podredumbre blanda en frutos.
Podredumbre blanda	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Podredumbres blancas en las cuales aparece micelio algodonoso.
Mildiú	<i>Phytophthora infestans</i>	Manchas pardas en el tallo y manchas irregulares en las hojas.

Continuación cuadro 5

Nombre común	Nombre científico	Síntomas
Tizón temprano	<i>Alternaria solani</i>	Lesiones negras en tallos y peciolo en frutos lesiones pardo oscuras.
Fusarium	<i>Fusarium oxysporium</i> f.sp. <i>Lycopersici</i>	Caída de peciolo de hojas superiores, las hojas inferiores se amarillan.
Verticillium	<i>Verticillium dahliae</i>	Mismo síntomas que fusarium.
Cancro bacteriano	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>Michiganensis</i>	Cancros oscuros en tallos, marchitamiento de hojas inferiores.
Mancha negra	<i>Pseudomonas syringae</i> p.v. <i>tomato</i>	Manchas negras en hojas, tallo y peciolo.
Roña o sarna bacteriana	<i>Xanthomonas campestris</i> p.v. <i>vesicatoria</i>	Manchas regulares negras en todas las partes aéreas.
Virus del bronceado del tomate	TSMV	Hojas bronceadas con puntos y manchas cloróticas.
Virus del rizado amarillo	TYLV	Foliolos de tamaño reducido, frutos pequeños.
Virus del mosaico	VMT	Frutos con deformaciones y manchas amarillas.
Virus Y de la patata	PVY	Mosaicos foliares en el haz y enveze.

Fuente: (Nuez, 1999)

2.1.9. Importancia económica del tomate a nivel mundial

2.1.9.1. Producción mundial

El tomate (*Solanum Lycopersicum* L.), es la hortaliza más importante en numerosos países y su popularidad aumenta constantemente, con una superficie total de cultivo que ronda los 2,5 millones de hectáreas a nivel mundial, para el año 2012. En la unión europea, Italia es el país productor con mayor superficie cultivada de tomate de industria. Además, este cultivo es la hortaliza para industria más importante a nivel mundial con una producción en 2000 de 27.102.000 toneladas que ha ido aumentando año tras año hasta 2009 con un record de 42.500.000 toneladas. En los años siguientes la producción siguió una tendencia descendente y para el 2012 fueron de 35.538.000 toneladas, tal como se aprecia en el cuadro 6 (Agraria, 2013).

Cuadro 6. Producción mundial de tomate en miles de toneladas

Zona producción	2008	2009	2010	2011	2012
Unión europea					
Italia	4800	5747	5080	4950	4500
España	1730	2700	2350	1985	1935
Portugal	1000	1242	1280	1065	1190
Región mediterránea					
Turquía	2700	1800	1280	1940	1750
Irán	1850	2400	1400	1850	1800
América					
California	10720	12073	11155	11067	11460
Canadá	560	495	466	426	500
Brasil	1200	1150	1796	1590	1200
Asia					
China	6400	8655	6210	6792	3230
Hemisferio norte	33191	39178	33293	35314	31245
Chile	510	619	708	794	668
Argentina	350	450	390	355	360
Tailandia	260	260	260	260	260
Rep. Dominicana			160	280	245
Australia			265	87	185
Suráfrica			140	112	125
Hemisferio sur	3017	3329	4106	2310	2293
Producción mundial	36208	42507	37399	37624	33538

Fuente: (Agraria, 2013)

De esta producción aproximadamente el 93,5% se produce en el hemisferio norte (zona mediterránea, California, China, etc) y el resto en el hemisferio sur (Brasil, Argentina, Australia). El 31,5% de la producción mundial corresponde a California, zona de mayor producción mundial con una gran estabilidad en los tres últimos años. A continuación como segunda zona de producción con un 12% destaca Italia, que ha sufrido un descenso importante de producción en esta campaña respecto al 2009, más del 25%.

China (tercero en orden de producción) es el país con mayor descenso de producción respecto a 2009, más de un 50%.

España mantiene el cuarto puesto a nivel mundial a pesar de la disminución continua de producción desde 2009, un 28%. Muy de cerca le siguen Turquía e Irán que se sitúan en 5 y 6 lugar en la producción mundial, que han superado estos dos últimos años a Brasil que después de unos años con su producción en aumento ha retrocedido en 2012 (Agraria, 2013).

2.1.9.2. Consumo mundial

En la figura 2, se prevé que el consumo vaya aumentando a nivel mundial y per cápita en forma lineal hasta el 2015 pasando de 5,8 kg/per cápita en 2012 a más de seis en el 2015, lo cual supondría un consumo total de 43,7 millones de toneladas de tomate (Agraria, 2013).

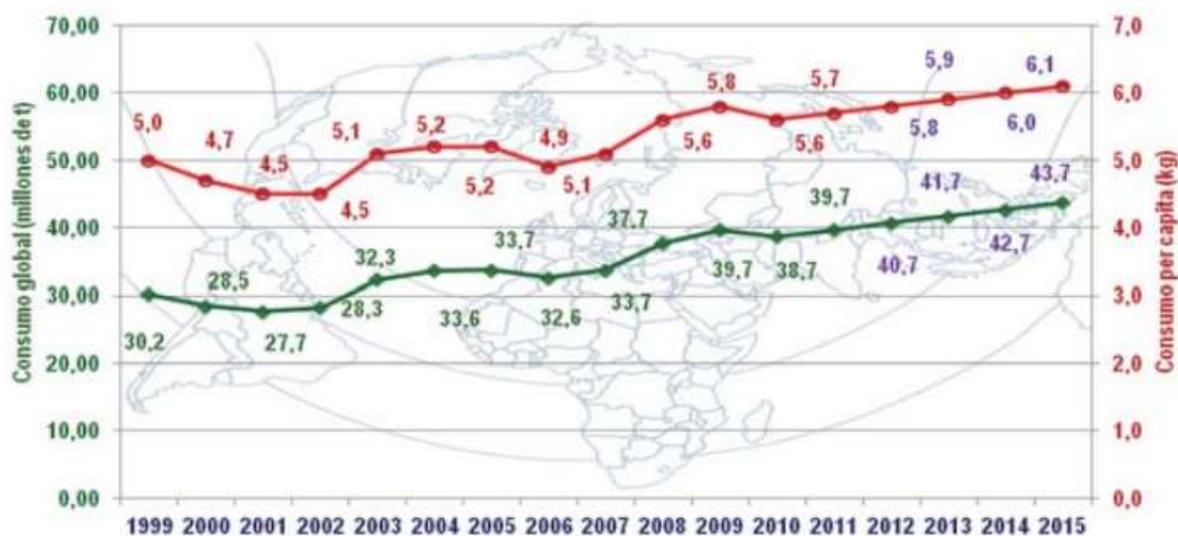


Figura 2. Consumo mundial per cápita de tomate

Fuente: (Agraria, 2013)

2.1.9.3. Importaciones y exportaciones

A. Importaciones

Estados Unidos de América resulta ser el país que más importa tomate para el año 2010, con 1,532,492 toneladas le sigue Rusia con 699,282 toneladas y el lugar número diez lo

ocupa Pakistán con 115,314 toneladas de tomate importadas, como se aprecia en el cuadro 7.

Cuadro 7. Países importadores de tomate a nivel mundial (2010)

Posición	País	Producción (t)
1	Estados Unidos de América	1,532,492
2	Federación de Rusia	699,282
3	Alemania	681,216
4	Francia	497,388
5	Reino Unido	384,602
6	Canadá	193,587
7	Holanda	172,382
8	España	163,475
9	Iraq	120,706
10	Pakistán	115,314

Fuente: (Agraria, 2013)

B. Exportaciones

En el cuadro 8, se observa que el primer país exportador es México con 1,509, 616 toneladas de tomate producidas para el 2010, le sigue Holanda con 910,346 toneladas siendo el que ocupa la posición número 10, Canadá con 166,870 toneladas de tomate exportadas.

Cuadro 8. Países exportadores de tomate a nivel mundial (2010)

Posición	País	Producción (t)
1	México	1,509,616
2	Holanda	910,346
3	Marruecos	784,965
4	España	738,772
5	Turquía	524,279
6	Jordania	371,257
7	Estados Unidos de América	224,279
8	Bélgica	191,101
9	Francia	189,462
10	Canadá	166,870

Fuente: (Agraria, 2013)

2.1.10. Aspectos productivos a nivel nacional

La producción nacional se encuentra distribuida de la siguiente forma: Jutiapa (20%), Baja Verapaz (20%), Chiquimula (11%), Guatemala (8%), Zacapa (7%), El Progreso (6%), Alta Verapaz (6%), Jalapa (5%) y los demás departamentos de la república suman el (17%) restante (MAGA, 2014); como se observa en la figura 3.

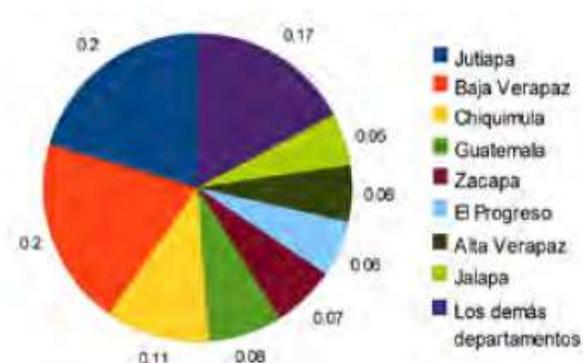


Figura 3. Distribución de la producción a nivel nacional en %

Fuente: (MAGA, 2014)

El 72.1% de la superficie cosechada se encuentra concentrada en 7 departamentos: Jutiapa (20.2%), Baja Verapaz (17.3%), Chiquimula (8.9%), Guatemala (7.1%), Alta Verapaz (6.5%), El Progreso (6.1%) y Jalapa (6%) (MAGA, 2014).

En el cuadro 9, se observa el rendimiento obtenido durante los años 2007 – 2014; para el año 2013, es una cifra estimada y en el caso del año 2014 es un dato calculado.

Cuadro 9. Área, producción y rendimiento de tomate en Guatemala

Año	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
2007	10,139.50	356,199.32	35.13
2008	10,220.00	369,738.32	36.18
2009	8,400.00	305,454.55	36.36
2010	8,575.00	295,208.30	34.43
2011	8,820.00	308,072.73	34.93
2012	8,890.00	309,718.18	34.84
2013 p/	9,100.00	318,659.09	35.02
2014 e/	9,030.00	323,804.55	35.86

Fuente:(MAGA, 2014)

Como se observa en el cuadro 10, en el año 2014 se importó 24 toneladas métricas, siendo éste el valor más bajo del período; así mismo se exportó 48, 584.56 toneladas métricas.

Cuadro 10. Comercio exterior, período 2005/2014

Año	Importación (t)	Exportación (t)
2005	331.26	20,555.26
2006	301.5	17,594.70
2007	88.11	20,116.06
2008	320.52	26,894.02
2009	2,908.15	24,149.41
2010	1,467.30	31,722.72
2011	276.62	60,648.95
2012	84.01	64,127.46
2013	475.74	72,939.76
2014	24	48,584.56

Fuente: (MAGA, 2014)

2.1.11. Curvas de crecimiento

En la figura 4, se presenta de forma generalizada el crecimiento de una planta anual que puede expresarse mediante una curva que presenta 5 fases:

1. Una fase inicial durante la cual ocurren cambios internos que son preparatorios para el crecimiento.
2. Una fase de rápido incremento en el crecimiento.
3. Una en la cual la tasa de crecimiento disminuye gradualmente.
4. Un punto en el que el organismo alcanza la madurez, y el crecimiento termina.
5. Una fase final, de senectud y muerte.

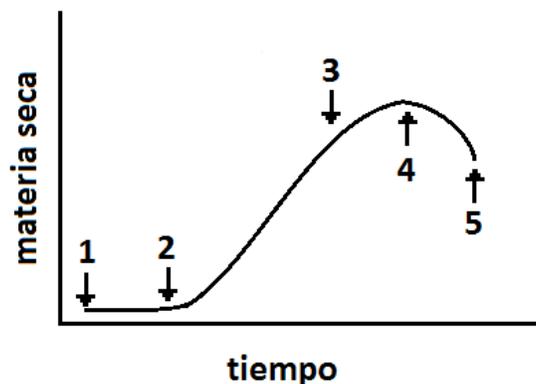


Figura 4. Curva de crecimiento de cultivos anuales

Fuente: (Bertsch, 2005)

En cultivos perennes, la curva es similar al inicio para luego establecer ciclos parciales y repetitivos de las tres fases centrales, como se aprecia en la figura 5 (Bertsch, 1995).

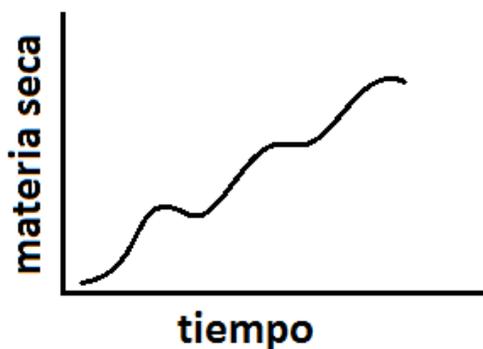


Figura 5. Curva de crecimiento de cultivos perennes

Fuente: (Bertsch, 1995)

Se basa en el principio propuesto en 1840 por Liebig en el cual declaró que la velocidad de un proceso influenciado por varios factores es tan rápida como lo permita el factor disponible al más bajo nivel. En otras palabras el crecimiento de una planta no puede ser mayor que el permitido por el factor disponible en menor cantidad. Así mismo en 1905 Blackman reformuló el anterior concepto diciendo que cuando un proceso es condicionado en su rapidez por un número determinado de factores separados, la tasa del proceso está limitada por el factor que actúe más lento.

2.1.12. Estudios de absorción de nutrientes

2.1.12.1. Generalidades de los estudios de absorción

Los estudios de absorción contabilizan de una forma u otra, la extracción o consumo de nutrientes de un cultivo para completar su ciclo de producción. Estos estudios no constituyen una herramienta de diagnóstico como el análisis foliar, sino más bien, contribuyen a dar solidez a los programas de fertilización (Bertsch, 2005). Concretamente, permiten conocer la cantidad de nutrientes que es absorbida por un cultivo para producir un rendimiento dado, en un tiempo definido. Los datos provenientes de estos estudios constituyen una medida real de la cantidad de nutrientes que consume un cultivo de la siembra a la cosecha y por lo tanto, representan las cantidades mínimas a las que debe tener acceso un cultivo para producir un determinado rendimiento. Estos estudios pueden ser puntuales, como lo que se refieren a requisitos totales y de cosecha, o las llamadas curvas de absorción que evalúan todo el ciclo de vida del cultivo (Bertsch, 2005).

2.1.12.2. Condiciones para los estudios de absorción de nutrientes

Los datos de estudios de absorción son valiosos cuando se refieren a un rendimiento dado, pues las necesidades de nutrientes cambian con el rendimiento. Por otro lado, la capacidad de absorción de un cultivo bajo condiciones nutricionales limitantes se reduce y esta es la razón para que los estudios de absorción deban conducirse bajo condiciones nutricionales óptimas (Bertsch, 2005).

Cada variedad de una misma especie puede también presentar características particulares de comportamiento y producción que se puede expresar en diferente capacidad de absorber nutrientes. Para que los resultados de un estudio de absorción resulten extrapolables a otras situaciones es necesario que se conduzcan bajo condiciones nutricionales óptimas y con variedades definidas (Bertsch, 2005).

2.1.12.3. Procedimientos básicos para efectuar estudios de absorción

La cantidad de nutrientes absorbida por una planta se obtiene de la relación entre el peso seco de los tejidos y la concentración de nutrientes en esos tejidos. Estos datos se pueden obtener de una sola vez en el ciclo de vida del cultivo, preferiblemente al final cuando la

absorción ha llegado a su nivel máximo, cuando se requieren solamente los datos de requisitos totales y/o de cosecha (Bertsch, 2005).

También se pueden obtener datos en varias etapas durante el ciclo, preferiblemente, asociadas a cambios fenológicos importantes, cuando se quiere elaborar las curvas de absorción. Además se pueden obtener de la planta entera o subdividiendo el material por tejidos (raíces, tallos, hojas, flores y frutos). En cualquiera de los casos es indispensable contar con el rendimiento comercial obtenido para ese cultivo que pueda ser asociado a ese consumo en concreto (Bertsch, 2005).

El procedimiento para obtener los datos en el campo es simple. Se debe muestrear un lote con plantas de excelentes condiciones y que tenga rendimientos (Bertsch, 2005). Determinar las etapas fenológicas más importantes en el ciclo del cultivo (es mejor determinar las etapas fenológicas definidas antes que días después de la siembra). Si se considera necesario se puede dividir la planta en los tejidos de importancia (raíces, tallos, frutos, etc.), (Bertsch, 2005).

Calcular el peso seco total (kg ha^{-1}), extrapolando el valor obtenido en el área muestreada a una hectárea (en ocasiones se puede usar cierto número de plantas para el muestreo y se extrapola teniendo en cuenta el número total de plantas en una hectárea del cultivo (Bertsch, 2005).

Por último se gráfica la curva de crecimiento poniendo las etapas fenológicas (tiempo) en el eje de las x y el peso seco para cada tejido muestreado y el total de cada punto en el eje de las y (Bertsch, 2005).

Las muestras secas se envían al laboratorio para el análisis de los nutrientes en los tejidos y con esta información se procede a calcular la cantidad de nutrientes absorbida por el cultivo multiplicando el contenido del nutriente por el peso del tejido luego de la extrapolación correspondiente. En el caso de que los costos de análisis no se puedan cubrir totalmente con el presupuesto del proyecto, las repeticiones de las muestras de

peso seco se pueden juntar en una sola muestra para el análisis de laboratorio, lo que reduce apreciablemente el costo. Con los datos obtenidos se dibuja la curva de absorción para cada nutriente en la misma forma como se lo hizo para la curva de acumulación de materia seca (Bertsch, 2005).

2.1.12.4. Diferentes tipos de estudios de absorción de nutrientes

Existen tres tipos de estudios de absorción de nutrientes: extracción total, requisitos de cosecha y curvas de absorción. A continuación se discuten, en la misma secuencia, situaciones reales en las que estos estudios sirven de base para tomar decisiones importantes al momento de diseñar e implementar un programa de fertilización (Bertsch, 2005).

2.1.12.5. Extracción total

- **Estimación de dosis de fertilización**

Conociendo el consumo total de nutrientes de un cultivo, lo primero que se puede hacer es estimar la dosis de nutrientes necesarias para obtener un rendimiento dado. Esto se logra confrontando el consumo total con las cantidades presentes en el suelo para determinar las cantidades de nutrientes necesarios para llegar a la meta de rendimiento establecida. Este método funciona mejor en cultivos perennes donde existe muy poca información de calibración del análisis de suelos para determinar las dosis de nutrientes (Bertsch, 2005).

- **Mejoramiento de la eficiencia de fertilización**

Cuando se conocen las cantidades totales de nutrientes requeridos por un cultivo y el programa de fertilización de rutina de ese cultivo en una finca específica, es posible observar si existen condiciones para mejorar la eficiencia del programa de fertilización y definir una dosis total de nutrientes más acertada (Bertsch, 2005).

2.1.12.6. Requisitos de cosecha

- **Restitución de cantidades exportadas**

La exportación de plantas exóticas representa un buen rubro de ingresos en casi todos los países de América latina. Muchos cultivos nuevos en los mercados de exportación no tiene información sobre absorción de nutrientes (trabajos locales o literatura), lo que

dificulta el manejo de la nutrición y la fertilización para asegurar altos rendimientos con adecuada calidad.

Por ejemplo quien maneja plantas ornamentales debe contar con datos de la cantidad de nutrimentos que se extraen por año por unidad de área de la plantación. Un estudio de absorción es un buen punto de partida para estimar la cantidad de nutrientes que se debe reponer al campo para mantener la fertilidad (Bertsch, 2005).

Luego, con los datos de producción de biomasa por semana, mes o año se puede planificar la forma y época de efectuar las restituciones. Es obvio que si se desea mantener la sostenibilidad del sistema debe al menos reponerse al suelo las mismas cantidades de nutrientes que se salen directamente del campo en la biomasa del cultivo (Bertsch, 2005).

2.1.12.7. Curvas de absorción de nutrientes

Las curvas de absorción de nutrimentos son la vía más directa para saber lo que ocurre con los nutrimentos durante el crecimiento de un cultivo, sin embargo para la mayoría de los cultivos se requiere de elaborarlas o al menos calibrarlas para las condiciones locales. Se construyen relacionando el peso seco de la planta entera o de cada una de sus partes con la concentración de cada nutrimento en varios estados de desarrollo (Bertsch, 1995).

La grafica de absorción acumulada o por etapas de la cantidad de nutrimento (kg ha^{-1} o g por planta), en función de la edad del cultivo o por órganos o en forma total permite conocer precisamente los momentos de máxima absorción y las cantidades totales de cada nutrimento que requiere el cultivo específico para completar su ciclo. La extracción de nutrientes depende de diferentes factores tanto internos como externos, los más sobresalientes son (Bertsch, 1995):

Factores internos:

- El potencial genético de la planta. Por esta razón es ideal determinar la curva de extracción para cada cultivar.

- Edad de la planta, o estado de desarrollo de la misma. La curva necesariamente debe reflejar los cambios nutricionales dependientes de la fenología de la planta. Con esto se pueden asociar puntos de máxima absorción con puntos claves de desarrollo como prefloración, floración, fructificación etc.

Factores externos:

Los factores externos son aquellos relacionados con el ambiente donde se desarrolla la planta como la temperatura, humedad, brillo solar, etc, (Bertsch, 1995).

2.1.12.8. Importancia y utilidad de las curvas de absorción

Conociendo el comportamiento de las curvas de absorción se determinan las épocas de mayor absorción de nutrientes durante el ciclo de crecimiento. Esto a su vez permite definir las épocas de aplicación de los fertilizantes en los programas de fertilización, que generalmente deberán ocurrir un par de semanas antes de este pico de alto requerimiento de nutrientes. Con esto se logra maximizar el aprovechamiento de los fertilizantes (Bertsch, 2005).

Este tipo de estudios es por supuesto el más completo y permite afinar apreciablemente los programas de fertilización. Aunque es un procedimiento más caro que el simple estudio de absorción total de nutrientes, puede acumular información valiosa que ayuda a mejorar los programas de manejo de la nutrición de los (Bertsch, 2005).

Para poder hacer las curvas de absorción de nutrientes hay que generar en forma previa la curva de crecimiento del cultivo, en términos de peso seco. Esta información, pese a ser tan básica, no existe para muchos cultivos. Lo importante de esta curva es que se pueden establecer las principales etapas fenológicas del cultivo y la participación de cada tejido en ellas. Esta información es de mucha utilidad en el manejo en general del cultivo y en particular de la nutrición (Bertsch, 2005).

De tal manera que las curvas de absorción de nutrientes permiten conocer la dinámica de absorción de los diferentes nutrientes durante el ciclo del cultivo y su relación con las diferentes etapas fenológicas. Con estas gráficas es fácil comparar las distintas tendencias

de absorción total y la absorción de nutrientes en cada tejido. Esta información es valiosa para diseñar estrategias de manejo de la nutrición del cultivo (Bertsch, 2005).

2.1.12.9. Diferentes curvas de absorción

- **Curvas de absorción para determinar épocas de máxima absorción**

Cuando se expresan en términos porcentuales las cantidades de nutrientes absorbidas por las plantas durante el ciclo del cultivo (utilizando el consumo máximo como el 100%), se puede observar claramente cuando ocurren los momentos de máxima absorción. Con esta información se puede determinar las épocas oportunas para entrega de nutrientes durante el ciclo del cultivo. Esta información es valiosa en cultivos extensivos, particularmente para el manejo del nitrógeno (Bertsch, 2005).

Este elemento es muy dinámico en el suelo y por esta razón es necesario fraccionar las aplicaciones al cultivo para evitar pérdidas. El encontrar las épocas adecuadas para la aplicación fraccionada de nitrógeno, ha sido siempre un problema para los productores y técnicos porque la dinámica de absorción de nitrógeno, cambia con el cultivar y aún con las variedades e híbridos del mismo cultivar. La curva de absorción de nitrógeno, permite conocer exactamente las épocas de mayor requerimiento y con esta información se puede determinar cuándo y cuánto fraccionar (Bertsch, 2005).

- **Curvas de absorción para evaluar reciclaje de nutrientes**

Con las curvas de absorción de nutrientes es posible detectar en cual tejido se acumula preferentemente un nutriente y con esta información se puede determinar si este nutriente saldrá del sistema con el producto cosechado o tendrá posibilidades de reciclarse en el sistema (Bertsch, 2005).

- **Curvas de absorción para incrementar la eficiencia de la fertilización con el tiempo**

En cultivos de ciclo corto y de fertilización intensiva con fertirrigación, las curvas de absorción permiten hacer un ajuste muy preciso entre la aplicación y el consumo de nutrientes (Bertsch, 2005).

- **Curvas de absorción para comparación de variedades**

Los estudios de curvas de absorción hacen fácil establecer las diferencias de comportamiento fenológico y nutricional de variedades o híbridos de un mismo cultivo (Bertsch, 2005).

- **Curvas de absorción en programas de fertilización en cultivos perennes**

Las curvas de absorción pueden ser una buena herramienta para mejorar los programas de fertilización en cultivos perennes (Bertsch, 2005).

- **Curvas de absorción para evaluar translocación de nutrientes**

Es posible identificar la conducta de translocación de un nutriente cuando la curva de acumulación de éste decrece en un tejido, mientras que continúa ascendiendo en otro (Bertsch, 2005).

2.1.13. Antecedentes del tema de investigación

Actualmente no existen trabajos relacionados con la absorción de nutrimentos en tomate (*Solanum lycopersicum* L. híbrido silverado), en el país por lo que se consultaron bibliografías de trabajos de absorción de nutrimentos en *S. lycopersicum* L., en otros países y en otros cultivos.

Saravia en Zamorano, Honduras llevo a cabo la elaboración de curvas de absorción de nutrientes para la variedad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mil), alboran bajo condiciones de invernadero; en donde demostró con las curvas de absorción obtenidas en este estudio, que la planta absorbió en kg ha⁻¹: N= 307, P= 61, K= 265, Ca= 155, Mg= 33, S= 43, Cu= 1, Fe= 2, Mn= 3, Zn= 1 y B= 0.4 hasta el día 110 después de siembra para obtener un rendimiento de 61 t ha⁻¹ (Saravia, 2004).

Berstch y Ramírez, en el cultivo de fresa demostraron que las etapas de máxima absorción, y por lo tanto las etapas de mayor necesidad de nutrientes, son la de emisión de guías (22-33 días después de la siembra (dds)) y la de llenado de frutos (46-54 dds.). Hasta los 33 días el cultivo ha consumido el 50% de N y K, indicando que hasta ese

momento se deben haber aplicado cantidades equivalentes de estos nutrientes. Los datos demuestran que el K es el nutriente que más se trasloca al fruto.

Azofeifa y Moreira (2008), en San José de Costa Rica; demostraron que en el cultivo de chile pimiento (*Capsicum annuum* L.), El período entre los 96 y 138 dds las plantas absorbieron el 84, 89, 87 y 82% del K. Para el caso del Ca, a los 166 dds la planta ha absorbido el 83% del total. El P, presentó dos momentos importantes de absorción; el primero entre los 82 y 110 dds, con un acumulado del 33% del P total, y un segundo entre los 152 y 180 dds, en donde completa el 100% del P necesario para el ciclo de cultivo. A los 152 dds, para el caso del Ca, es el momento que marca el inicio de un período intenso de absorción de este elemento así mismo El P a los 82 dds inició un período de absorción intenso, que se estabilizó a los 110-124 dds; luego de los 138 y hasta los 180 dds su absorción se incrementó nuevamente.

Berstch y Ramírez, en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatis*), demostraron que las épocas de máxima absorción coinciden con la emisión de guías e inicio de floración (33-40 dds), y después del pico de floración e inicio de llenado de frutos. El 60% del N se consume antes de los 40 dds., el P sufre una absorción más gradual, mientras que el K sólo ha consumió un 35% del total a los 40 días después de la siembra.

2.2. Marco referencial

2.2.1. Localización

El invernadero en el cual se estableció el cultivo se ubica en el Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA), se encuentra en la ciudad universitaria, zona 12, ciudad capital de Guatemala, como se observa en la figura 6; en las coordenadas geográficas 14°35'11" latitud norte y 90°31'58" longitud oeste, a una altura de 1502 msnm, con precipitación pluvial de 1246 mm anuales, temperatura media de 17.2°C, humedad relativa del 79%. (Herrera, 2011).

2.2.2. Clima del CEDA

Zona caracterizada por una temperatura media anual de 20.4 grados centígrados; con una máxima de 25.6 y una mínima de 17.8 grados centígrados. Está a una altura de 1,502

metros sobre el nivel del mar. La zona tiene una precipitación promedio anual de 1,216 milímetros. Humedad relativa promedio de 79% anual (Herrera, 2011).

2.2.3. Zona de vida

De acuerdo al sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, el área donde se ubica el invernadero donde se cultivó el híbrido de tomate silverado se incluye dentro de la zona de bosque húmedo sub-tropical templado (bh-S(t)) (Herrera, 2011).

2.2.4. Suelo del invernadero

El suelo del invernadero utilizado, según el mapa de taxonomía de suelos del Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía CEDA (figura 6), se ubica dentro del subgrupo ultic paleustalfs, pertenecientes al orden alfisol cuyas características se describen a continuación:

Orden alfisol: El nombre de este orden de suelos se debe a los símbolos químicos Al y Fe que aparecen como predominantes en su desarrollo. La mayoría de los alfisoles tienen un régimen de humedad údico, ústico o xérico, y algunos pueden presentar condiciones aquicas. Son suelos cuyo régimen de humedad es tal que son capaces de suministrar agua a las plantas mesofíticas durante más de la mitad del año o por lo menos durante más de tres meses consecutivos a lo largo de la estación de crecimiento de las plantas (Moreno, Ibáñez, & Gisbert, 2015).

Suborden ustalfs:. No presentan características redoximórficas cerca de la superficie del suelo. En ocasiones, durante años se presentan procesos de percolación hacia capas profundas del perfil. Los ustalfs son los alfisoles de las regiones subhúmedas o semiáridas (Moreno, Ibáñez, & Gisbert, 2015). En la figura 6 se indica el mapa de taxonomía de suelos del CEDA.

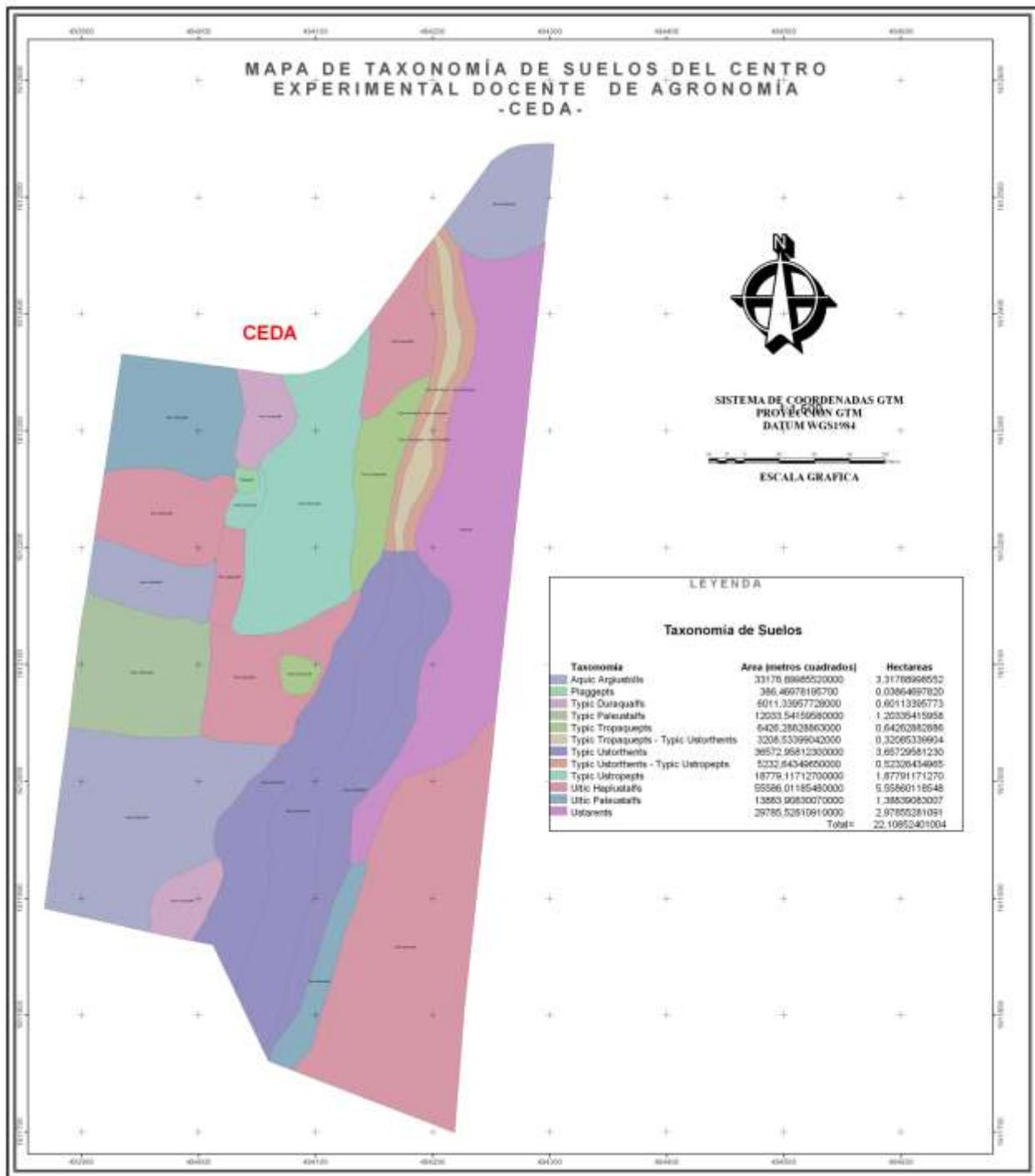


Figura 6. Taxonomía de suelos del CEDA

Fuente: Estudiantes del curso de taxonomía de suelos & USIG-FAUSAC

2.2.5. Características del invernadero

La fase de campo de la descripción de la dinámica nutrimental del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado, se realizó bajo condiciones de invernadero.

2.2.5.1. Dimensiones del invernadero

El invernadero en el cual se sembró el híbrido silverado, es del tipo capilla a dos aguas, con una longitud de nave de 30 metros, ancho de la nave 6.60 m, abertura cenital 0.70 m, ventilación cenital de 10.5 %, inclinación doble cuya área es de 600 m², a continuación se indica lo concerniente a temperatura y humedad dentro del invernadero que se utilizó (Jerónimo, 2009) :

2.2.5.2. Temperatura y humedad

El registro de los datos de temperatura y humedad relativa se llevó a cabo, por medio de un higrotermómetro, ubicado dentro del invernadero en el cual se sembró el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado.

A) Temperatura máxima, mínima y media

La temperatura tiene mucha importancia en el desarrollo de los cultivos, porque de ella depende en gran parte el buen desarrollo del cultivo. La temperatura óptima de desarrollo para el cultivo de tomate, oscila entre los 20° y 30 °C (CORPOICA, 2006). El invernadero en el cual se realizó la fase de campo de dicha investigación, presentó una temperatura media de 29°C. Durante el día la temperatura en el interior del invernadero registrada como la más baja fue de entre 16 y 17°C, así mismo la temperatura más alta entre 38 y 41°C.

B) Humedad máxima, mínima y media

Dentro del invernadero utilizado, se registró una humedad relativa máxima del 88% durante el día, así mismo la humedad relativa mínima registrada dentro del mismo fue de entre 10 a 11%. La humedad relativa media registrada dentro del invernadero fue del 35%.

3. Objetivos

3.1. General:

Describir la dinámica de absorción de nutrientes en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L. híbrido silverado), bajo condiciones de invernadero en el Centro experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA).

3.2. Específicos

- Generar la curva de acumulación de materia seca del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado.
- Determinar las curvas de absorción de elementos mayores y menores, en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado.
- Establecer la demanda de la extracción total de nutrimentos en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado.

4. Metodología

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado, fue sembrado bajo condiciones de invernadero en suelo, con riego diario y fertirriego una vez por semana; lo cual se describe a continuación:

4.1. Material experimental

El material experimental utilizado fue el híbrido de tomate silverado, de crecimiento determinado. Fruto en forma de pera, color rojo intenso al estar bien maduro, resistente al transporte. Cuyo rendimiento promedio es de 65 – 75 toneladas de fruto por hectárea (Donis, 2015).

4.2. Características físicas y químicas del suelo

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado, fue establecido bajo condiciones de invernadero con riego diario; en un suelo de textura franco arcillo arenoso con 24.99% de arcilla, 24.82% de limo y 50.89% de arena, tal como se indica en el cuadro 11.

Cuadro 11. Análisis físico del suelo

Identificación	%			Clase textural
	Arcilla	Limo	Arena	
M-1	24.99	24.82	50.19	Franco arcillo arenoso

Fuente: Laboratorio de suelos FAUSAC

Taxonómicamente el suelo del invernadero en el cual se cultivó *S. Lycopersicum* L., pertenece al orden alfisol (Figura 6), con pH moderadamente ácido. Cuya concentración de cobre (1 ppm), fue menor al rango adecuado (2-4 ppm), para este tipo de suelo; con un porcentaje de saturación de bases (1.56%), por debajo del rango adecuado, cuya concentración de fósforo fue alta (44 ppm). Con un nivel de concentración de potasio superior al adecuado (1.56 meq/100 g), porcentaje de materia orgánica adecuado (4.83%) y con niveles de calcio (13.22 meq/100 g), y magnesio altos (4.36 meq/100 g).

Las concentraciones de Zn (11.5 ppm), Fe (11 ppm) y Mn (122.5 ppm), se encuentran dentro del rango adecuado. Un suelo de fertilidad potencialmente alta, como se visualiza en el cuadro 12.

Cuadro 12. Análisis químico de suelo

Identificación	pH	ppm					meq/100 g					%	
		P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	M.O
Rango adecuado	6-6.5	12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	20-25	4-8	1.5-2		0.27-0.38	75-90	4-5
M-1	6	44	1	11.5	11	122.5	28.57	13.22	4.36	0.48	1.56	68.69	4.83

Fuente: Laboratorio de suelos FAUSAC

Según Bertsch, la capacidad de absorción de un cultivo bajo condiciones nutricionales limitantes se reduce y esta es la razón para que los estudios de absorción deban conducirse bajo condiciones nutricionales óptimas. Para que los resultados de un estudio de absorción resulten extrapolables a otras situaciones es necesario que se conduzcan bajo condiciones nutricionales óptimas y con variedades definidas; debido a ello la solución nutritiva utilizada en este estudio no fue elaborada en base a las características fisicoquímicas del suelo en el cual se sembró; ya que se manejó el cultivo bajo condiciones de fertilidad alta, con el objetivo de que la nutrición no fuera limitante para el adecuado desarrollo del cultivo a lo largo de su ciclo productivo.

4.3. Parcela de trabajo

El cultivo fue establecido en cuatro surcos de 1 metro de ancho y 8.5 metros de largo, las plantas se trasplantaron distanciadas a 0.5 metros al tresbolillo utilizando un total de 136 plantas; cuya densidad proyectada fue de 40,000 plantas por hectárea (figura 7).

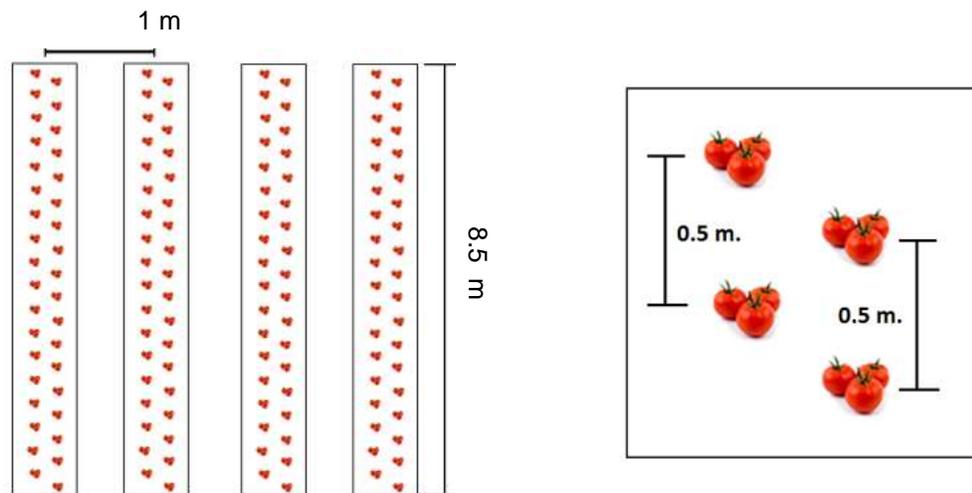


Figura 7. Parcela de trabajo

4.4. Muestreo de plantas

Las plantas se muestrearon en la fase de pilón y a los 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 días después de su trasplante en campo. El número de plantas muestreadas inicialmente fue de quince pilones, posteriormente se realizaron los muestreos cada quince días. En cada muestreo se extrajeron al azar, tres plantas vigorosas, libres de daños de plagas y enfermedades. Se analizaron cada uno de los órganos (tallo, raíz, hojas, flores y frutos), de las plantas. Hasta los 120 días se realizaron ocho muestreos, como se indica en el cuadro 13.

Cuadro 13. Muestreos por etapa fenológica

Muestreo	Etapa fenológica	Días después del trasplante	No. de plantas
1	Fase vegetativa	0	15 pilones
2		15	3 plantas
3		30	3 plantas
4		45	3 plantas
5	Floración	60	3 plantas y flores
6		75	3 plantas y flores
7	Fructificación	90	3 plantas, flores y frutos
8		105	3 plantas, flores y frutos

Las muestras se analizaron en el laboratorio de suelo-planta-agua “Salvador Castillo Orellana” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicado en la ciudad universitaria.

4.5. Manejo del cultivo

4.5.1. Preparación del terreno

Se llevó a cabo la eliminación de malezas y rastrojos del ciclo anterior establecido en el invernadero, luego de forma manual se realizó con piocha y azadón el picado y volteo de suelo para dar aireación y mejorar la retención de humedad del suelo. En el invernadero donde se estableció el cultivo existían problemas de gallina ciega (*Phyllophaga* spp.), por lo cual se realizó su extracción manual y luego una aplicación de terbufos: S-[[[1,1-dimetil etil) tio] metil] 0,0-dietil fosforoditioato. Al momento del trasplante se sumergieron los pilones en una solución de *Bacillus subtilis* (subsol I 0,08 sc), para hongos del suelo y *Beauveria bassiana* (teraboveria 0,5 l), para gallina ciega.

4.5.2. Distanciamiento de siembra

La siembra de *S. lycopersicum* L., se realizó en camas con cobertura plástica color gris. El distanciamiento entre camas utilizado fue de 1 metro; así mismo las plantas fueron sembradas a una distancia de 0.5 metros, al tresbolillo; obteniéndose una densidad de proyectada de 40,000 plantas por hectárea.

4.5.3. Tutorado

La labor de tutorado inició quince días después del trasplante, se realizó con rafia color negro debidamente desinfectada en una solución de cloro al 5%; se sostuvo sobre los paralelos de concreto existentes en el invernadero, a dicha actividad se le dio seguimiento cada ocho días.

4.5.4. Deshije

Esta actividad inició cuando el cultivo cumplió un mes de establecido, se utilizó tijeras las cuales se desinfectaron en una solución de cloro al 5%. La planta se trabajó únicamente a un eje. Dicha actividad se realizó cada ocho días, guardando el material cortado debidamente identificado ya que las plantas fueron muestreadas al azar.

4.5.5. Control de malezas

Con fines de reducir el apareamiento de malezas en los camellones se utilizó cobertura plástica de color gris; entre los mismos y sus alrededores la limpieza de malezas se realizó de forma manual, con machete y azadón.

4.5.6. Control de plagas y enfermedades

Se establecieron dentro del invernadero trampas azules, amarillas y blancas, con pegamento stikem special, las cuales fueron renovadas mensualmente; así mismo se colocaron cortinas para disminuir la entrada de insectos al invernadero. Para el control de plagas así como de enfermedades se utilizó productos biológicos, los cuales se citan a continuación:

- Nim (*Azadirachta indica*), act botánico 0,003 sc
- *Bacillus subtilis*, subsol 0,08 sc
- *Beauveria bassiana*, teraboveria 0,5 l

4.5.7. Riego y fertilización

Se utilizó un sistema de riego por goteo. Se regó a diario, durante treinta minutos; una vez a la semana se aplicó en el riego una solución nutritiva, la cual se formuló sin considerar las características físicas y químicas del suelo; debido a que se procuró manejar el cultivo bajo condiciones de fertilidad alta con el objetivo de que la nutrición no fuera limitante para el adecuado desarrollo del cultivo a lo largo de su ciclo productivo.

Lo anterior se justifica ya que según Bertsch, la capacidad de absorción de un cultivo bajo condiciones nutricionales limitantes se reduce y esta es la razón para que los estudios de absorción deban conducirse bajo condiciones nutricionales óptimas; así mismo para que los resultados de un estudio de absorción resulten extrapolables a otras situaciones es necesario que se conduzcan bajo condiciones nutricionales óptimas y con variedades definidas.

La solución nutritiva aplicada al cultivo una vez por semana, fue elaborada con los elementos en sus respectivas concentraciones, como se muestra en el cuadro 14.

Cuadro 14. Concentraciones de los elementos en la solución nutritiva

Nutriente	Cantidad (ppm)	kg ha⁻¹
Nitrógeno	180	305
Fosforo	80	136
Potasio	300	508
Calcio	120	203
Magnesio	50	85
Azufre	80	136
Hierro	10	17
Cobre	5	8
Manganeso	3	5
Boro	5	8
Molibdeno	2	3

La solución nutritiva se almacenó en un tanque rotoplast de color negro para evitar la inactivación de los elementos, con una capacidad de 2,050 litros de solución. La fertilización se realizó, una vez por semana aplicando 320 litros de solución los cuales se distribuyeron en cuatro surcos.

4.5.8. Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual, desde los 90 hasta los 120 días después del trasplante. Se realizaron seis cortes, obteniéndose en promedio 28 frutos por planta. El rendimiento obtenido hasta los 120 días fue de 78.4 toneladas de fruto por hectárea.

4.5.9. Variables de respuesta

Las variables de respuesta consideradas en la investigación fueron las siguientes:

4.5.9.1. Biomasa (materia fresca y materia seca)

La biomasa fue de utilidad para elaborar las curvas de absorción respectivas; se expresó en términos de kilogramos por hectárea (kg ha⁻¹). Se diferenció entre biomasa aérea (hojas, flores, frutos y tallos), así como biomasa radicular.

a. **Materia fresca**

La materia fresca se determinó mediante mediciones en balanza analítica inmediatamente después de su extracción en campo para evitar pérdidas de agua por deshidratación.

b. **Materia seca**

La materia seca se determinó en un horno de convección forzada a una temperatura de entre 65°-70° celsius; dato obtenido por el laboratorio de suelo-planta-agua “Salvador Castillo Orellana” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.5.9.2. Determinación y cuantificación de nutrientes

La cuantificación de cada uno de los elementos (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, zinc, hierro y manganeso), se ejecutó en el laboratorio de suelo-planta-agua, “Salvador Castillo Orellana” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicado en la ciudad universitaria. A continuación se presenta en el cuadro 15, cada uno de los elementos determinados y su método de cuantificación.

Cuadro 15. Métodos de determinación para la cuantificación de elementos

Elemento	Método de determinación
Fósforo (P)	Colorimetría
Potasio (K) Calcio (Ca) Magnesio (Mg) Cobre (Cu) Zinc (Zn) Hierro (Fe) Manganeso (Mn)	Absorción atómica
Nitrógeno (N)	Kjhielhal semi-micro

Fuente: Laboratorio de suelos FAUSAC

4.5.9.3. Análisis de la información

La información se analizó por medio de la elaboración e interpretación de gráficas que relacionan el peso seco de cada una de las partes de la planta de tomate (raíz, hojas, tallo, flores y frutos), con la concentración de cada nutrimento de acuerdo a la etapa fenológica

del cultivo (curvas de absorción de nutrientes): Las curvas de absorción fueron elaboradas por elemento (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, zinc, hierro y manganeso).

5. Resultados y discusión

5.1. Biomasa

5.1.1. Materia fresca

El cuadro 16, indica el peso seco y fresco por planta expresado en gramos, los mayores incrementos de biomasa sucedieron durante la etapa de fructificación, presentándose la máxima ganancia neta en biomasa entre los 90 y 105 días después del trasplante, obteniendo en este período, una ganancia neta de 1,066.01 gramos de materia fresca y 66 gramos de materia seca. El rendimiento obtenido fue de 78.4 toneladas de fruto por hectárea.

Cuadro 16. Peso de materia fresca y seca por planta en el ciclo del cultivo de tomate híbrido silverado

Días después de trasplante	Total peso fresco por planta (g)	Total peso seco por planta (g)
Pilón	0.70	0.16
15	11.67	1.76
30	70.13	9.37
45	119.05	23.80
60	400.40	48.85
75	763.82	62.25
90	1 231.15	125.50
105	2 087.16	191.50
120	2 647.16	224.30

5.1.2. Materia seca

Se observa en el cuadro 17, la acumulación de materia seca por órgano, en donde se aprecia que los frutos representan el 51% de la materia seca, seguido de las hojas con el 35.67%, los frutos con 9.81%, las flores con 1.78% y las raíces con el 1.56%. Descartando el valor proporcionado por los frutos, se estima que la mayor acumulación de biomasa

sucedió al inicio de la floración, alcanzando una ganancia neta de 25.05 gramos en el periodo de 45 a 60 días después del trasplante, se observa un segundo momento de alta acumulación de biomasa en la fase de fructificación, obteniendo una ganancia neta de 25 gramos entre los 90 y 105 días después del trasplante, mientras que si se incluye el valor de los frutos, la máxima acumulación de biomasa ocurre en la etapa de fructificación, con una ganancia neta de 66 gramos en el periodo comprendido entre los 90 y 105 días después del trasplante.

Cuadro 17. Acumulación de materia seca en el cultivo de tomate híbrido silverado

Días después de siembra	Peso seco (g)					Total acumulado (g)	Total acumulado sin frutos(g)
	Raíz	Tallo	Hojas	Flores	Frutos		
pilón	0.04	0.06	0.06	-	-	0.16	0.16
15	0.52	0.55	0.69	-	-	1.76	1.76
30	0.53	3.31	5.53	-	-	9.37	9.37
45	2	8.8	13	-	-	23.80	23.80
60	2.75	9.1	36	1	-	48.85	48.85
75	3.1	14.6	42.5	2	-	62.25	62.25
90	3.3	21	57.2	3	41	125.50	84.50
105	3.5	22	80	4	82	191.50	109.50
120					114.8	224.30	

En la figura 8, se detalla la curva de acumulación de materia seca, sin incluir a los frutos, para visualizar el patrón de crecimiento de la planta, en donde se puede apreciar que durante la etapa vegetativa, hasta el día 45 después del trasplante, la planta logró acumular el 21% de la materia seca; en la etapa de floración, a partir del día 46 hasta el día 75 después del trasplante, la planta acumuló el 35% de la materia seca, mientras que durante la etapa de fructificación, la planta alcanzó el valor más alto de acumulación de materia seca el 44%.

Como se observa en la figura 8, durante el periodo comprendido entre los 0 y 15 días después del trasplante (etapa vegetativa), la ganancia diaria de materia seca presentó un incremento lento con un valor de 0.11 gramos, siendo esta fase donde ocurren cambios internos preparatorios para el crecimiento de la planta. En el período transitorio entre la

etapa vegetativa y de floración, se presenta un incremento rápido en el crecimiento y por ende, una acelerada acumulación de materia seca por día, alcanzando un valor máximo de 1.67 gramos durante los 46 a 60 días después del trasplante, posteriormente, se presenta una disminución en la tasa de acumulación de materia seca diaria, entre los 61 a 75 días después del trasplante, con un valor de 0.89 gramos, lo cual coincide con el cuajado de los primeros frutos, a partir de este punto comienza a incrementarse la tasa de acumulación de materia seca diaria hasta recuperar su valor máximo de 1.67 gramos en el período de los 91 a 105 días después del trasplante, debido a que los muestreos se finalizaron en esta etapa, no se alcanzó a apreciar el punto en que la planta alcanza su madurez lo que concluye con el crecimiento de la misma, pues el ciclo del cultivo es de más de 200 días. Lo anterior se detalla en la figura 8.

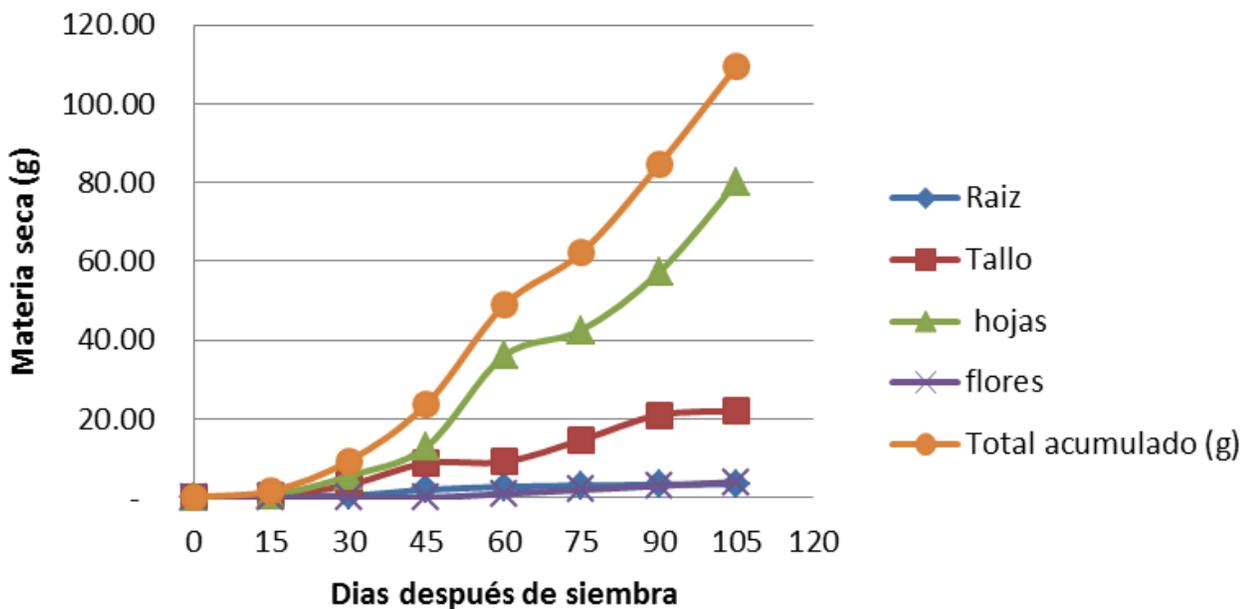


Figura 8. Curva de acumulación de materia seca del cultivo de tomate híbrido silverado

5.2. Curvas de absorción de nutrientes

5.2.1. Absorción de macronutrientes primarios (N, P, K)

5.2.1.1. Nitrógeno

Debido a que el nitrógeno participa directamente en la síntesis de proteínas, durante el crecimiento de la planta y la producción de frutos, este elemento es uno de los de mayor

demanda (Haifa, 2015), es por ello que se puede apreciar que el órgano con la mayor absorción son las hojas y frutos ostentando más del 90% del nitrógeno absorbido por la planta

La cantidad total de nitrógeno absorbido por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado, durante el período de muestreo (120 días), fue de 318.89 kg ha⁻¹, contribuyendo los frutos con el 49 % del total y las hojas con el 42%. La cantidad total de nitrógeno absorbido por el cultivo fue mayor que el reflejado por Ciampitti & García (2015), y Fertilizer (2015); pues se reporta que la absorción total de nitrógeno es de 2.8 kg t⁻¹ y 2.4 kg t⁻¹ respectivamente, mientras que la absorción de nitrógeno obtenida en la investigación fue de 4.06 kg t⁻¹.

En la figura 9, se aprecia que la absorción de nitrógeno fue menor al 5% durante la etapa de crecimiento (hasta los 45 días después del trasplante), el 27% de nitrógeno fue absorbido en la época de floración (de 46 a 75 días después del trasplante) mientras que el 68% de nitrógeno fue absorbido durante la época de fructificación (76 a 120 días después del trasplante), observándose una absorción directamente proporcional con respecto a la cantidad de biomasa producida por el cultivo.

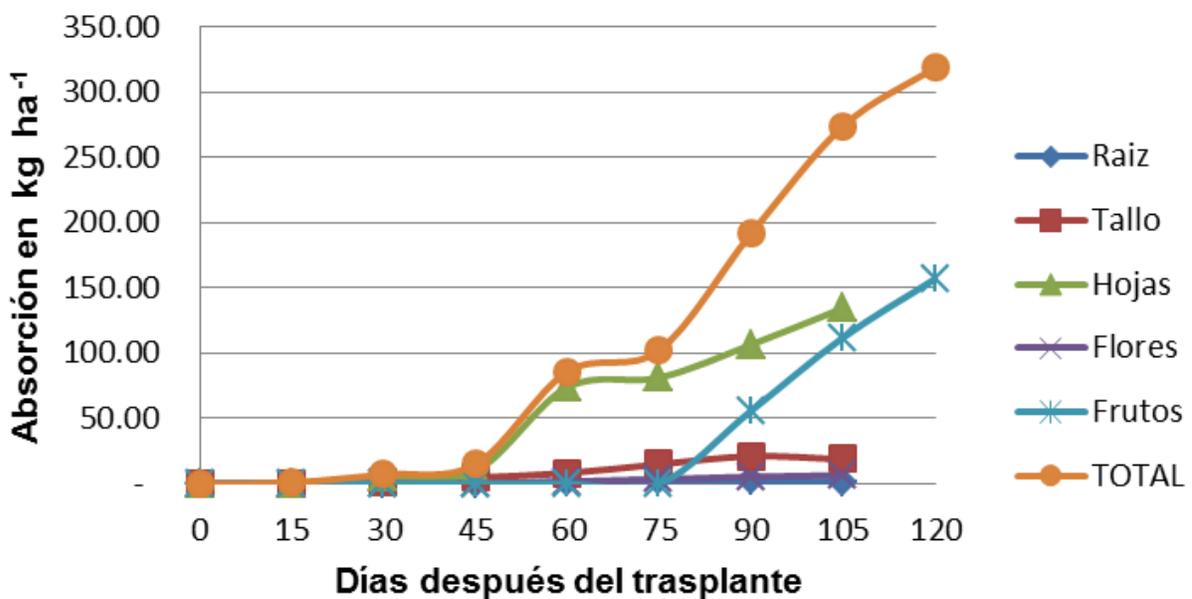


Figura 9. Curva de absorción de nitrógeno en el cultivo de tomate híbrido silverado

La concentración de nitrógeno al inicio de la floración (46 a 60 días después del trasplante), presentó un valor de 5.14%, el cual es superior al rango de suficiencia que reporta Harry A. Mills (1996), el cual oscila entre 2.8 y 4.2%, lo cual indica que el nitrógeno no fue un elemento limitante en el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo las condiciones ambientales, de suelo y manejo que se le brindó, al cultivo durante el transcurso del estudio.

5.2.1.2. Fósforo

El fósforo participa directamente en la división celular, realiza una función clave en la fotosíntesis, la respiración celular y todo el metabolismo energético, se comporta como un elemento muy móvil que se distribuye fácilmente por toda la planta, favorece el desarrollo de raíces al comienzo de la etapa vegetativa (Haifa, 2015). En la figura 10, se aprecia que los frutos y las hojas presentaron la mayor demanda de fósforo en el cultivo, absorbiendo cerca del 87% de este nutriente hacia el final del ciclo de cultivo.

La cantidad de fósforo absorbido por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado hasta los 120 días, fue de 35.5 kg ha⁻¹, siendo éste el macroelemento primario con la menor absorción. La cantidad total de fósforo absorbido por el cultivo fue mayor que el reflejado por Ciampitti & García (2015) y Fertilizer (2015, pues reportan que la absorción total de fósforo es de 0.4 kg t⁻¹ y 0.41 kg t⁻¹, respectivamente, mientras que la absorción de obtenida bajo las condiciones de suelo y manejo a los 120 días fue de 0.45 kg t⁻¹.

En la figura 10, se observa que durante la época vegetativa (hasta los 45 días después del trasplante), la absorción de fósforo, alcanzó el 6%; el 24%, fue absorbido en la época de floración (de 46 a 75 días después del trasplante), mientras que el 70% de fósforo fue absorbido durante la época de fructificación (76 a 120 días después del trasplante), al igual que en el nitrógeno, la absorción de fósforo, fue directamente proporcional con respecto a la cantidad de biomasa producida por el cultivo.

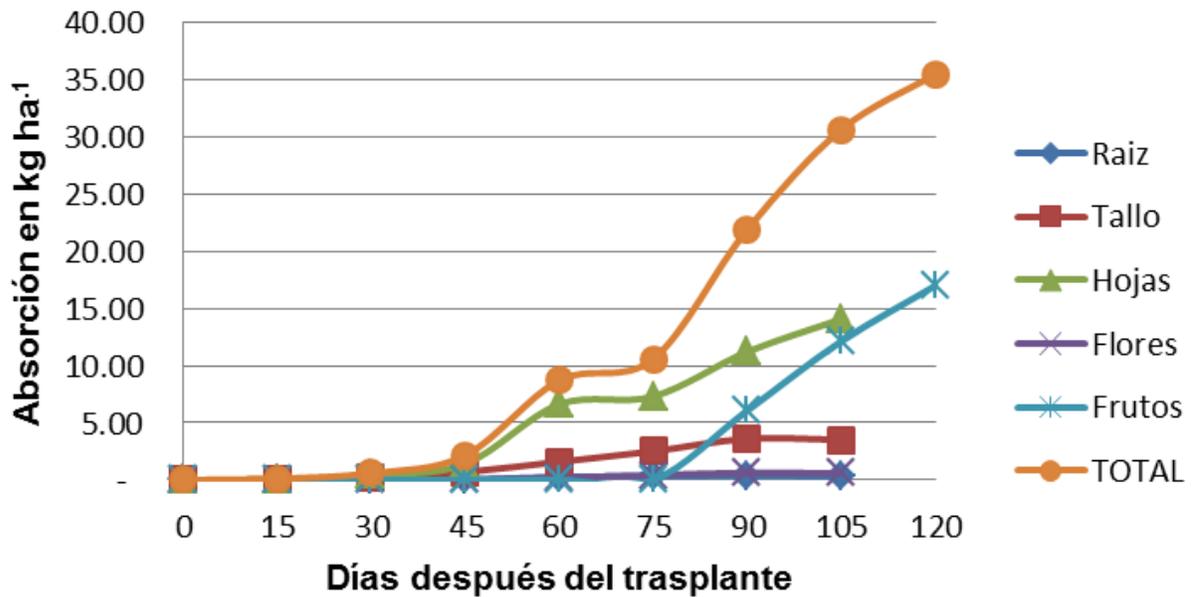


Figura 10. Curva de absorción de fósforo en el cultivo de tomate híbrido silverado

Se considera que bajo las condiciones de este estudio, el fósforo no limitó el desarrollo del híbrido silverado, pues al inicio de la floración (46 a 60 días después del trasplante), alcanzó un valor de 0.46 %, el cual es el valor máximo del rango de suficiencia que reporta Harry A. Mills (1996), el cual oscila entre 0.31 y 0.46%.

5.2.1.3. Potasio

El potasio interviene en el transporte de azúcares, control estomático y es cofactor de muchas enzimas, reduce la susceptibilidad de la planta a enfermedades (Haifa, 2015). Se observa en la figura 11, que el 84% de la absorción de potasio ocurrió tanto en frutos como en hojas.

De los macronutrientes primarios, el potasio es el segundo elemento con mayor absorción con 295.12 kilogramos de potasio por hectárea. El total de potasio absorbido por el cultivo fue de 3.76 kg t⁻¹, cantidad que es menor que el valor reflejado por Ciampitti & García (2015), pues se reporta que la absorción total de potasio es de 4.5 kg t⁻¹ pero mayor que el reportado por Fertilizer (2015), el cual es de 3.6 kg t⁻¹.

El comportamiento de la absorción de potasio sigue el mismo patrón que el nitrógeno y el fósforo, pues durante la época vegetativa (hasta los 45 días después del trasplante), el cultivo absorbió cerca del 5% de potasio, en la época de floración (de los 46 a 75 días después del trasplante), y el 67% de potasio fue absorbido en la época de fructificación (de 76 a 120 días después del trasplante). La demanda de potasio en los frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), fue alta, pues estos representaron el 47% de potasio absorbido por la planta, tal como se observa en la figura 11.

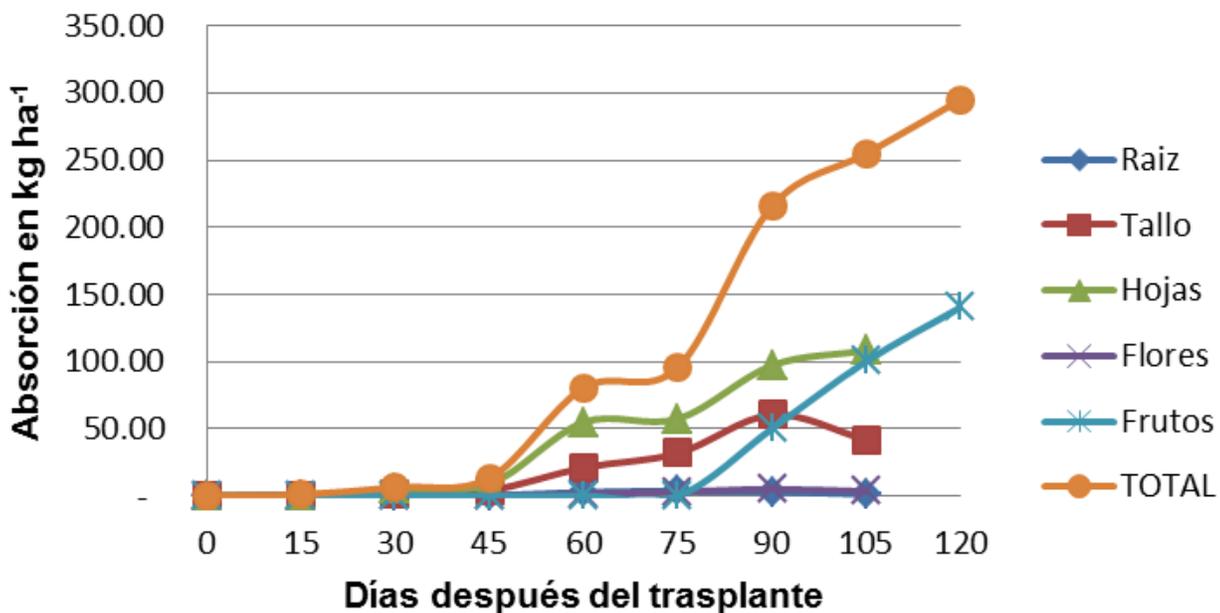


Figura 11. Curva de absorción de potasio en el cultivo de tomate híbrido silverado

Al inicio de la floración (46 y 60 días después del trasplante), las hojas alcanzaron una concentración de potasio de 3.81%, valor que se encuentra en el rango de suficiencia reportado por Harris A. Mills (1996), el cual oscila entre 3.52 – 5.08%, por lo que se considera que bajo las condiciones de manejo del estudio, ninguno de los macronutrientes primarios fue limitante para el desarrollo del cultivo de tomate.

5.2.2. Absorción de macroelementos secundarios (Ca, Mg)

5.2.2.1. Calcio

Una de las funciones principales del calcio en las plantas es formar parte de la pared celular (Haifa, 2015), es evidente ya que las hojas representaron cerca del 73% del volumen de materia seca sin contar con los frutos y que en este órgano se absorbieron las más altas concentraciones de calcio (3.81 %), fueron las hojas el órgano con la mayor absorción de este elemento con el 77% del calcio total. A pesar que los frutos constituyeron el mayor volumen de materia seca total (51%), debido a la baja concentración de calcio en este órgano (0.31 %), no representó gran impacto en la absorción de calcio pues reflejó solamente el 11% del calcio absorbido. La cantidad de calcio absorbido por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), hasta los 120 días fue de 127.87 kg ha⁻¹.

La cantidad de calcio absorbido por tonelada de fruto fue de 1.6 kg t⁻¹, dato que es inferior al reflejado por Ciampitti & García (2015) el cual es de 2.8 kg t⁻¹, sin embargo, esta cantidad se encuentra dentro del rango reportado por Fertilizer (2015), con una absorción de calcio entre 1.3 y 1.6 kg t⁻¹.

La concentración de calcio al inicio de la floración (46 a 60 días después del trasplante), presentó un valor de 3.56%, el cual es superior al rango de suficiencia que reporta Harry A. Mills (1996), el cual oscila entre 1.6 y 3.21%, lo cual indica que el calcio no fue un elemento limitante en el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado, bajo las condiciones ambientales, de suelo y manejo que se le brindó, durante el transcurso del estudio.

Debido a que la absorción de calcio se ve directamente relacionada con la producción de materia seca aportada por las hojas, se observó que el 7% del calcio fue absorbido durante la época de crecimiento (hasta los 45 días después del trasplante), el 49% de calcio fue absorbido en la época de floración (de 46 a 75 días después del trasplante) mientras que el 44% de calcio fue absorbido durante la época de fructificación (76 a 120 días después del trasplante), como se aprecia en la figura 12.

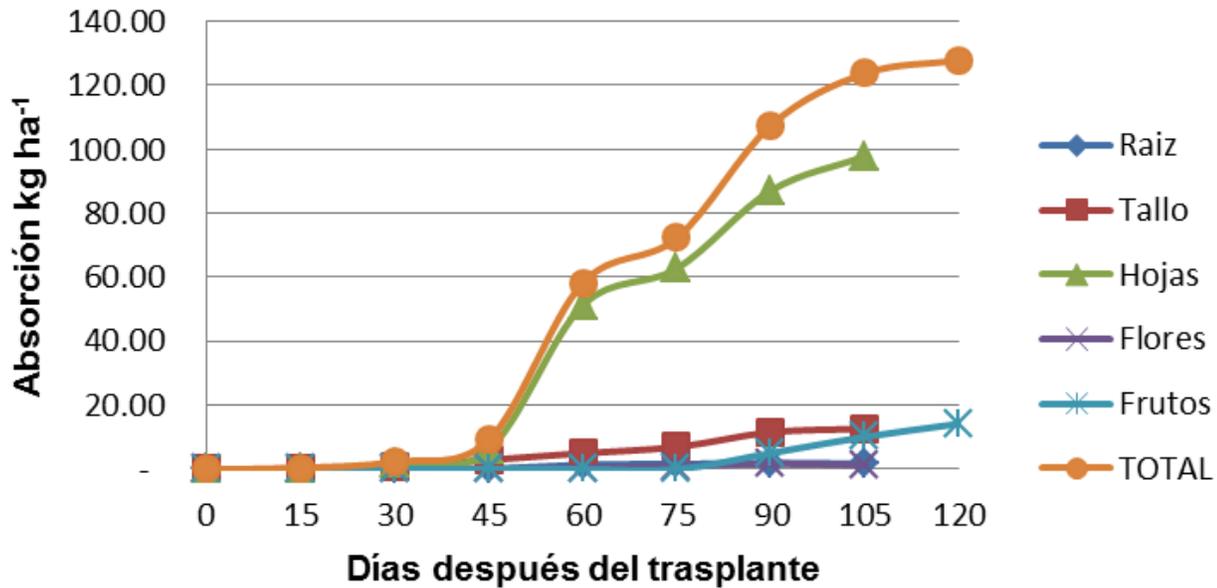


Figura 12. Curva de absorción de calcio en el cultivo de tomate híbrido silverado

5.2.2.2. Magnesio

El magnesio forma parte central de la molécula de la clorofila (Haifa, 2015), razón por la cual, la mayor absorción de magnesio sucedió en las hojas pues es el principal órgano fotosintético, con el 62% de la absorción total de magnesio, seguido por los frutos, que absorbieron cerca del 24% de magnesio. La cantidad total de magnesio absorbido por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado fue de 30.82 kg ha⁻¹.

Asimismo, se observa en la figura 13, que durante la fase vegetativa del cultivo (hasta los 45 días después del trasplante), éste absorbió cerca del 9% de magnesio total, durante la etapa de floración, (de los 46 a 75 días después del trasplante), el cultivo alcanzó un valor del 44% del magnesio absorbido, mientras que durante la época de fructificación (76 a 120 días después del trasplante), la absorción de magnesio fue del 47%. La concentración de magnesio al inicio de la floración (46 a 60 días después del trasplante), presentó un valor de 0.84%, el cual es superior al rango de suficiencia que reporta Harry A. Mills (1996), el cual oscila entre 0.36 y 0.49 %, lo cual indica que el magnesio, al igual que el calcio, no fueron elementos limitantes en el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Solanum*

lycopersicum L.), bajo las condiciones ambientales, de suelo y manejo que se le brindó, durante el transcurso del estudio.

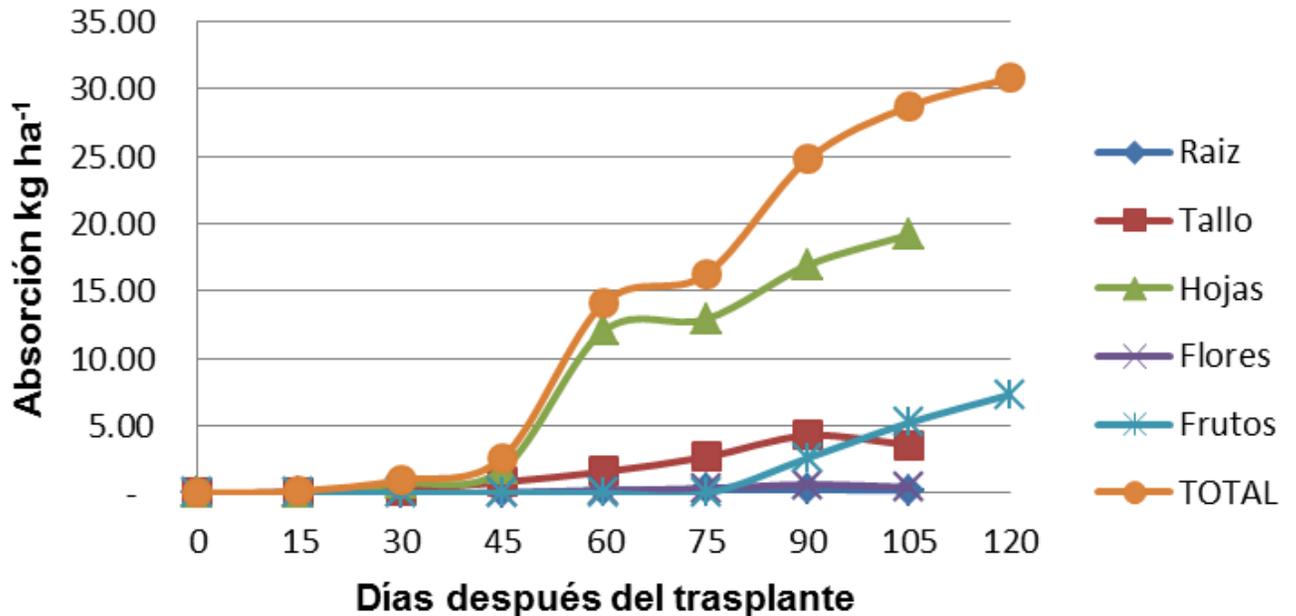


Figura 13. Curva de absorción de magnesio en el cultivo de tomate híbrido silverado

Ciampitti & García (2015), reportan una absorción total de Magnesio de 0.7 kilogramos por cada tonelada de frutos cosechada, mientras que la absorción total alcanzada en el estudio fue menor con un valor de 0.40 kg t^{-1} , pero se encuentra dentro del rango de magnesio que reporta Fertilizer (2015), el cual presenta valores entre 0.1 y 0.4 kg t^{-1} .

Según los rangos de suficiencia reportados por Harry A. Mills (1996), ninguno de los macroelementos secundarios (Ca y Mg), fueron un factor limitante para el desarrollo del cultivo. Contrariamente a los macroelementos primarios (N, P, K) que su demanda estaba dividida entre hojas y frutos principalmente, la absorción tanto de calcio como magnesio se vieron influenciados directamente por las hojas, alcanzando valores del 76% y 62% respectivamente.

5.2.3. Absorción de microelementos (Cu, Fe, Zn y Mn)

5.2.3.1. Cobre

El cobre ejerce influencia en el metabolismo de nitrógeno y carbohidratos, por lo cual denota que las hojas son el órgano que demanda principalmente este nutriente, acumulando el 58% del cobre total. El cultivo alcanzó una absorción total de 82.66 gramos de cobre por hectárea.

En la figura 14, se observa que durante la fase vegetativa (hasta los 45 días después del trasplante), el cultivo absorbió cerca del 10% de cobre total; durante la etapa de floración, (de los 46 a 75 días después del trasplante), el cultivo alcanzó un valor del 53% del cobre absorbido, mientras que durante la época de fructificación (76 a 120 días después del trasplante), la absorción de cobre fue del 37%.

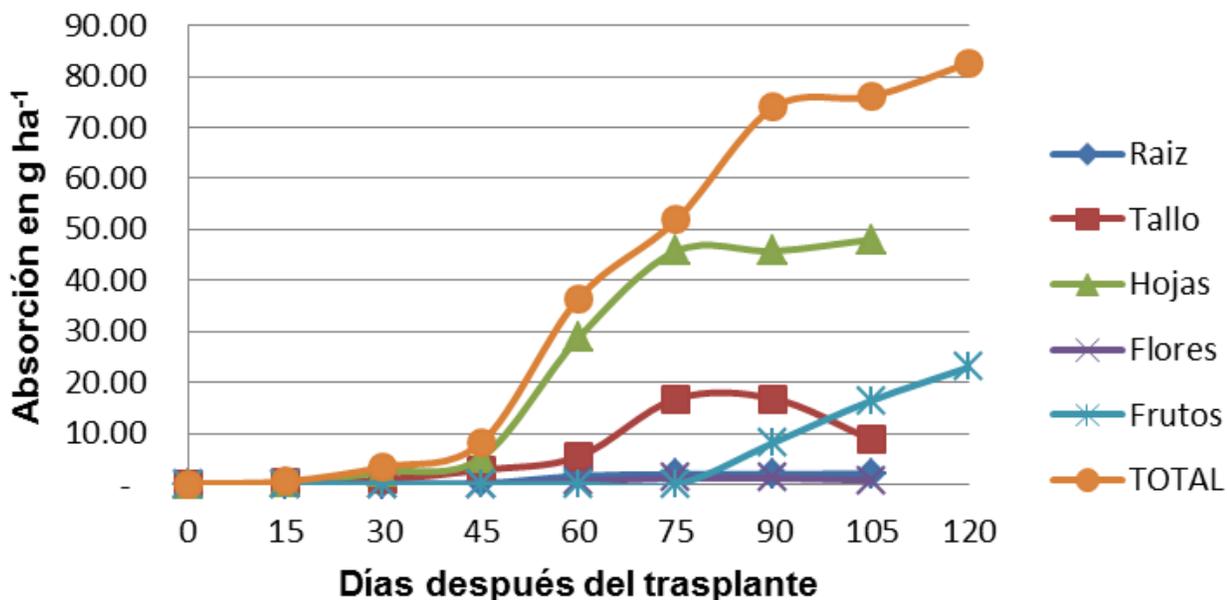


Figura 14. Curva de absorción de cobre en el cultivo de tomate híbrido silverado

La concentración de cobre al inicio de la floración (46 a 60 días después del trasplante), presentó un valor de 20 ppm, el cual es superior al rango de suficiencia que reporta Harry A. Mills (1996), que es de 6 ppm, lo cual indica que bajo las condiciones de este estudio, el

cobre no fue un elemento limitante en el desarrollo del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado.

5.2.3.2. Zinc

El zinc participa en la síntesis de auxinas, las cuales son fabricadas principalmente en los ápices de los tallos (Haifa, 2015), es por esta razón, que a pesar que los tallos representan solamente el 10% de la materia seca total del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado (incluyendo los frutos), absorbieron el 35% del zinc total, este mismo porcentaje fue absorbido por las hojas, mientras que el 30% restante se distribuyó entre flores, frutos y raíces. La absorción total de zinc fue de 268.88 gramos por hectárea.

Como se observa en la figura 15, durante la época vegetativa (hasta los 45 días después del trasplante), la absorción de zinc ostentó el 10%, el 49% de zinc fue absorbido en la época de floración (de 46 a 75 días después del trasplante) mientras que el 41% de zinc fue absorbido durante la época de fructificación (76 a 120 días después del trasplante).

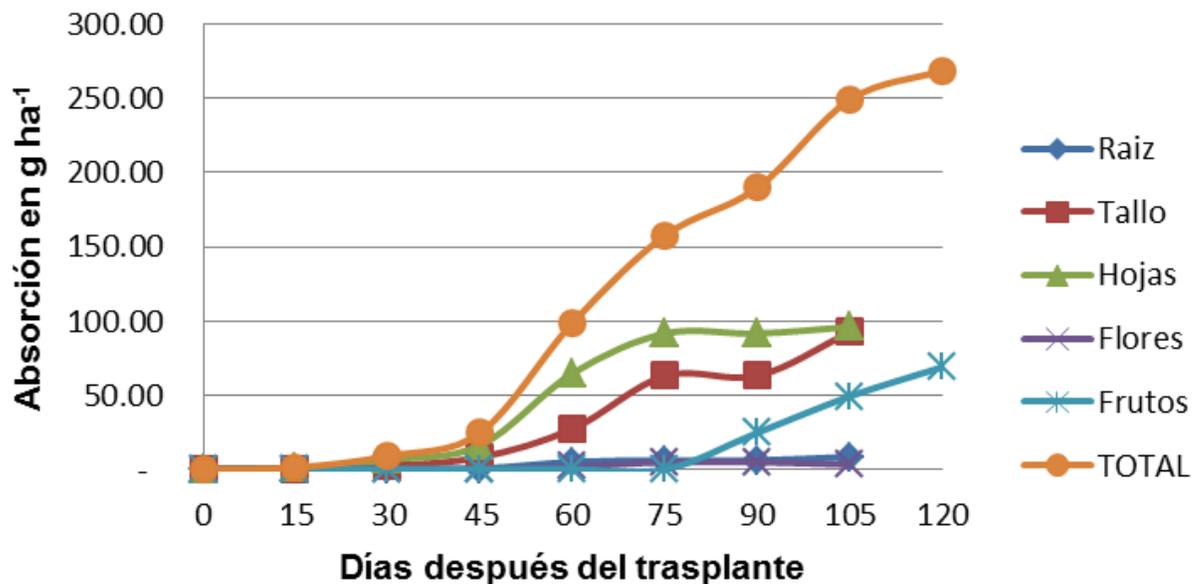


Figura 15. Curva de absorción de zinc en el cultivo de tomate híbrido silverado

Se considera que bajo las condiciones de este estudio, el zinc no represento limitantes al desarrollo del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pues al inicio de la floración

(46 a 60 días después del trasplante), alcanzó un valor de 45 ppm, mientras que el valor que reporta Harry A. Mills (1996), es de 39 ppm.

5.2.3.3. Hierro

Se puede observar en la figura 16, que las hojas son el principal órgano fotosintético y con la mayor demanda de hierro, absorbiendo más del 60% del hierro total, esto debido a que el hierro participa en la síntesis de la clorofila. La absorción total de hierro fue de 268.88 gramos por hectárea.

El comportamiento de la absorción del hierro se aprecia en la figura 16, donde durante la época vegetativa (hasta los 45 días después del trasplante), el cultivo absorbió cerca del 15% de hierro; en la época de floración (de los 46 a 75 días después del trasplante), el cultivo absorbió el 55% del hierro mientras que el 30% de hierro restante fue absorbido en la época de fructificación (de 76 a 120 días después del trasplante). Al inicio de la floración (46 y 60 días después del trasplante), las hojas alcanzaron una concentración de hierro de 245 ppm, valor que es superior al rango de suficiencia reportado por Harris A. Mills (1996), el cual es de 84 a 112 ppm, por lo que se considera que el hierro no limitó el desarrollo del cultivo de tomate híbrido silverado.

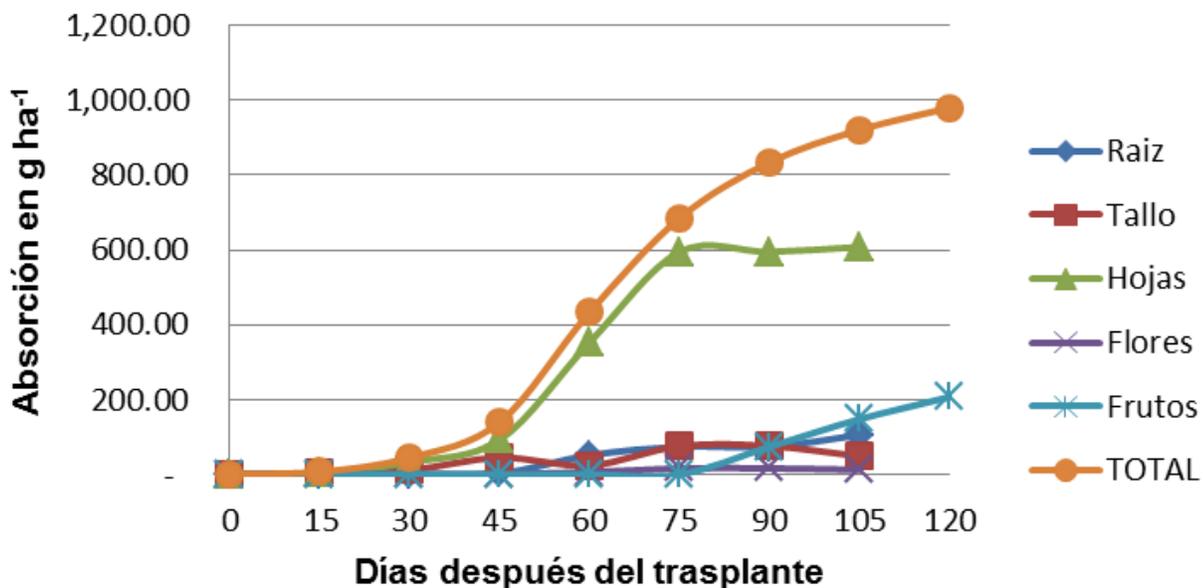


Figura 16. Curva de absorción de hierro en el cultivo de tomate híbrido silverado

5.2.3.4. Manganeso

El manganeso participa en los procesos de la fotosíntesis, por lo que se puede apreciar en la figura 17, que al igual que el hierro, el órgano con la mayor demanda de manganeso son las hojas utilizando el 75% del manganeso absorbido, durante la época vegetativa (hasta los 45 días después del trasplante), el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado, utilizó el 10% del manganeso; durante la época de floración (de los 46 a 75 días después del trasplante), el cultivo absorbió el 78% del manganeso mientras que el 12% de manganeso restante fue absorbido en la época de fructificación (de 76 a 120 días después del trasplante).

Al inicio de la floración (46 y 60 días después del trasplante), las hojas alcanzaron una concentración de hierro de 65 ppm, valor que se encuentra dentro del rango de suficiencia reportado por Harris A. Mills (1996), el cual es de 55 a 165 ppm, por lo que se considera que el manganeso no limitó el desarrollo del híbrido silverado.

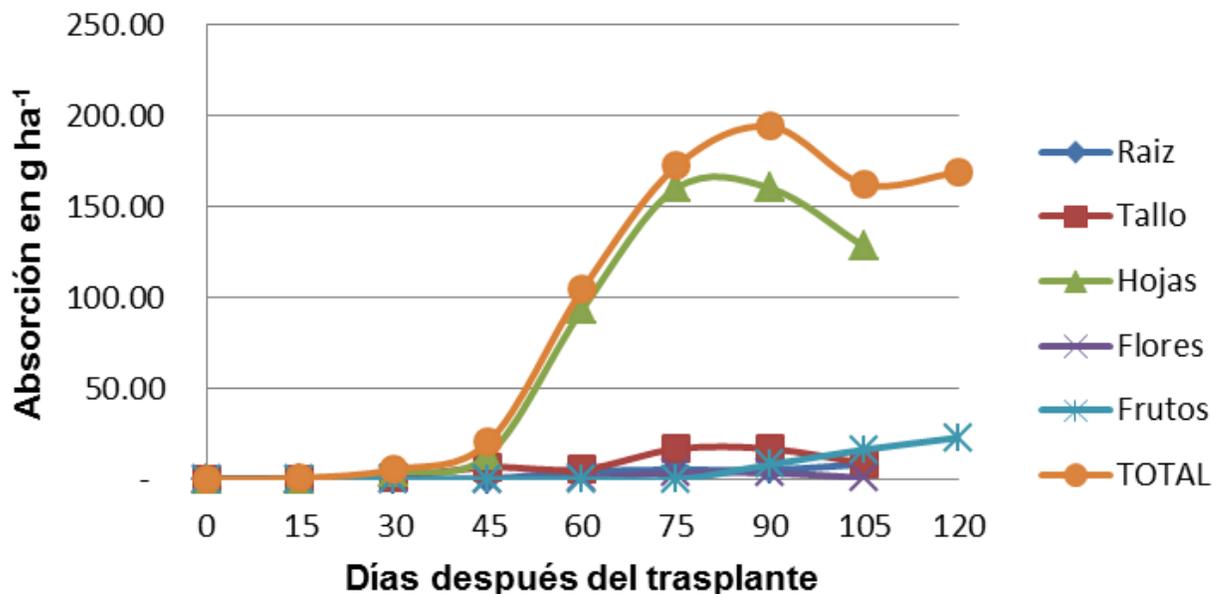


Figura 17. Curva de absorción de manganeso en el cultivo de tomate híbrido silverado

Según los rangos de suficiencia reportados por Harry A. Mills (1996), ninguno de los microelementos (Cu, Zn, Fe y Mn), representó un factor limitante para el desarrollo del

cultivo. La mayor demanda de Cu, Fe y Mn sucedió en las hojas con valores superiores al 50% mientras que para el zinc la absorción ocurrió por igual en tallos como en hojas.

5.2.4. Absorción total del cultivo a los 120 días después del trasplante

En el cuadro 18, se observa la cantidad total de nutrientes absorbidas por el cultivo de tomate, siendo el nitrógeno el macro elemento que presenta la mayor absorción con 318.89 kg ha⁻¹, seguido del potasio con 295.12 kg ha⁻¹, el total de calcio absorbido fue de 127.88 kg ha⁻¹, el fósforo alcanzo un nivel de absorción total de 35.5 kg ha⁻¹ y el magnesio absorbió 30.83 kilogramos por hectárea.

Cuadro 18. Absorción total de macro y micronutrientes en el cultivo de tomate híbrido silverado

DDT	kg ha ⁻¹					g ha ⁻¹			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
0	0.06	0.01	0.09	0.02	0.02	0.14	0.13	0.52	0.10
15	1.13	0.11	1.04	0.42	0.17	0.60	1.20	6.91	0.71
30	7.18	0.59	6.46	2.33	0.97	3.40	8.88	44.35	5.35
45	14.92	2.15	13.32	9.11	2.65	8.18	24.70	139.66	20.61
60	85.97	8.73	80.60	58.20	14.15	36.51	98.85	433.61	104.46
75	102.37	10.59	95.83	72.31	16.26	51.83	157.69	684.94	172.33
90	191.73	21.90	215.97	107.63	24.78	73.94	189.86	834.40	195.84
105	274.02	30.65	254.97	123.81	28.73	76.10	249.20	921.00	162.40
120	318.89	35.50	295.12	127.88	30.83	82.66	268.88	980.04	168.96

De los microelementos, el hierro alcanzó el mayor nivel de absorción con 980.04 g ha⁻¹, seguido del zinc con 268.88 g ha⁻¹, manganeso con 195.84 g ha⁻¹ y el cobre con 82.66 g ha⁻¹.

En la figura 18, se aprecia el comportamiento de la absorción de nutrientes en el tiempo, siendo la etapa vegetativa (hasta los 45 días después del trasplante), la etapa que

presenta los menores porcentajes de absorción, los cuales oscilan entre el 5 y 15% de la absorción total, presentándose los menores porcentajes en los macronutrientes primarios (N, P y K), los cuales son menores al 7%. Los micronutrientes (Cu, Zn, Fe y Mn), presentaron absorciones entre el 10 al 15%. Durante la etapa de floración (de los 46 a 75 días después del trasplante), se observan absorciones entre el 24 y 77%, observándose el mismo patrón de absorciones que en la etapa vegetativa, pues los macronutrientes primarios presentaron absorciones entre el 24 al 28%, mientras que los micronutrientes presentaron absorciones entre el 50 y 77%.

En la etapa de fructificación se presentan las mayores demandas de los macronutrientes primarios con absorciones cercanas al 70%, mientras que en los micronutrientes las absorciones disminuyeron. Tanto calcio como magnesio presentan similares absorciones durante las etapas de floración y fructificación.

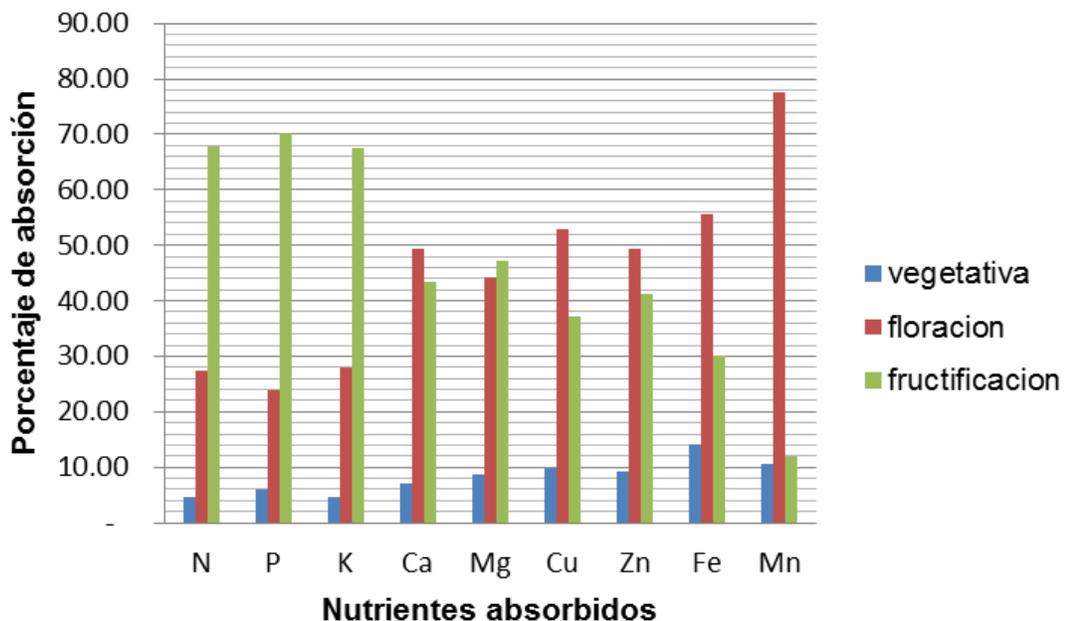


Figura 18. Porcentajes de absorción de nutrientes por etapa en el cultivo de tomate híbrido silverado

6. Conclusiones

- 6.1. Con base en la curva de crecimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L. híbrido silverado), se determinó que en la etapa vegetativa se produjo el 10% de la materia seca. En la etapa de floración se produjo el 17% mientras que en la etapa de fructificación se generó el 77% de la materia seca. El 86% de la materia seca total fue generada en los frutos y las hojas, contribuyendo los frutos con más del 50% de la biomasa.
- 6.2. Con base en las curvas de absorción se determinó que en la fase vegetativa el cultivo utilizó el 10% de los macronutrientes y el 15% de los micronutrientes. Durante la fase de floración, el 25% de nitrógeno, fósforo y potasio, así como el 40% de calcio, magnesio y zinc, 50% de hierro y cobre así como el 80% de manganeso. En la etapa de fructificación, el 65% de nitrógeno, fósforo y potasio, el 50% de calcio y magnesio, el 45% de zinc, 35% de hierro y cobre, así como el 5% de manganeso.
- 6.3. Para producir 78.4 toneladas de frutos por hectárea, el cultivo extrajo: 318.89 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 295.12 kg ha⁻¹ de potasio, 127.88 kg ha⁻¹ de calcio, 35.5 kg ha⁻¹ de fósforo, 30.83 kg ha⁻¹ de magnesio, 0.98 kg ha⁻¹ de hierro, 0.26 kg ha⁻¹ de zinc, 0.19 kg ha⁻¹ de manganeso y 0.08 kg ha⁻¹ de cobre.

7. Recomendaciones

Bajo las condiciones de este estudio, se recomienda distribuir los nutrientes en cada una de las etapas del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado como se indica a continuación:

- 7.1. Durante la fase vegetativa se recomienda la aplicación del 10% de los macronutrientes y el 15% de los micronutrientes, a los 15 días después del trasplante. Durante la fase de floración, el 25% de macronutrientes primarios (N, P, K), así como el 40% de macronutrientes secundarios y zinc; 50% de hierro y cobre así como el 80% de manganeso, la aplicación debe realizarse al inicio de la floración para que al momento de la demanda nutrimental exista la disponibilidad de los nutrientes en esta etapa.
- 7.2. Debido a que se considera que la etapa de fructificación es la que presenta la mayor demanda de nutrientes, se recomienda la aplicación del 65% de nitrógeno, fósforo y potasio, el 50% de calcio y magnesio, el 45% de zinc, 35% de hierro y cobre, así como el 5% de manganeso, como se indica en el cuadro 19.

Cuadro 19. Recomendación de aplicación de nutrientes

Nutriente	Cantidad de nutriente a aplicar kg ha ⁻¹		
	Etapla vegetativa	Etapla de floración	Etapla de fructificación
Nitrógeno	31.88	79.72	207.27
Fósforo	3.55	8.87	23.07
Potasio	29.51	73.78	191.83
Calcio	12.78	51.14	63.93
Magnesio	3.08	12.33	15.42
Cobre	12.39*	41.33*	28.93*
Hierro	40.33*	490.02*	343.01*
Zinc	147.00*	107.55*	120.99*
Manganeso	25.34*	135.16*	8.44*

* Cantidades en g ha⁻¹

8. Bibliografía

1. Agraria, N. (2013). Variedades de tomate para la industria. Recuperado el Septiembre de 2013, de http://www.navarraagraria.com/n196/ar_toma13.pdf
2. Agrequima. (Mayo de 2012). Impacto social y económico del sector agrícola guatemalteco sobre la economía nacional. Recuperado el 17 Agosto de 2013, de <http://www.agrequima.com.gt/images/stories/presentaciones-iv/agrequima-estudio-190412.pdf>
3. Agrícola El Sol, GT. (2013). Agrícola El Sol. Recuperado el 1 de Octubre de 2013, de http://www.agricolaelsol.com/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=38&Itemid=60
4. BANGUAT. (Agosto de 2013). Guatemala: valor (CIF) de las importaciones y valor (FOB) de las exportaciones por producto de la industria agropecuaria, extractiva y manufacturera (según clasificación del Banco de Guatemala), comercio general, año 2014 (a febrero), -cifras en US dólares-. Recuperado el 17 de Agosto de 2013, de Banco de Guatemala, http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/comercio/por_producto/prod0207DB001.htm&e=52791
5. BAYER.MX. (2011). Centro de Investigación y Capacitación Koppert Rapel. Recuperado el 25 de Agosto de 2013, de [http://www.bayercropscience.com.mx/bayer/cropscience/bcsmexico.nsf/files/extranet/\\$file/Platica_CEICOR.pdf](http://www.bayercropscience.com.mx/bayer/cropscience/bcsmexico.nsf/files/extranet/$file/Platica_CEICOR.pdf)
6. Bertsch, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

7. Bertsch, F. (Abril de 2005). Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Recuperado el 20 de Agosto de 2013, de [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/76A0E12D2DF131AB05256FF200587B24/\\$file/Estudios+de+absorci%C3%B3n+de+nutrientes+como+apoyo.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/76A0E12D2DF131AB05256FF200587B24/$file/Estudios+de+absorci%C3%B3n+de+nutrientes+como+apoyo.pdf)
8. Botanical.-on-line.com. (2012). Tomates. Recuperado el 28 de Septiembre de 2013, de <http://www.botanical-online.com/tomates.htm>
9. Calderón, F. (25 de junio de 2015). Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá. Recuperado el 20 de Agosto de 2013, de http://www.drcalderonlabs.com/Cultivos/Tomate/Requerimientos_Nutricionales.htm
10. CENTA.SV. (2010). La poda vegetativa en la producción de tomate. Recuperado el 17 de Agosto de 2013, de <http://www.centa.gob.sv/sidia/pdf/produccion/Importancia%20de%20la%20Poda%20en%20tomate.pdf>
11. CENTA.SV. (2011). Guía técnica de cultivo de tomate. Recuperado el 18 de Septiembre de 2013, de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Tomate.pdf>
12. Ciampitti, I, & García, F. (22 de junio de 2015). Requerimientos nutricionales: absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundario. Recuperado el 20 de Agosto de 2013, de [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/\\$FILE/AA%2012.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/$FILE/AA%2012.pdf)

13. Corpeño, B. (Agosto de 2004). Manual_del_Cutivo_de_Tomate Centro de Inversión, Desarrollo y Exportación de Agronegocios. Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de http://www.sisman.utm.edu.ec/libros/FACULTAD%20DE%20INGENIER%C3%8DA%20AGRON%C3%93MICA/CARRERA%20DE%20INGENIER%C3%8DA%20AGRON%C3%93MICA/07/cultivo%20de%20clima%20templado/Manual_del_Cutivo_de_Tomate_WEB.pdf
14. CORPOICA. (2006). Cultivo de tomate bajo invernadero. Boletín Técnico 1. Recuperado el 21 de Septiembre de 2013, de <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/webbac/Documentos/Tomatebajoinvernadero.pdf>
15. Cortés, M. (7 de Febrero de 2011). Valoración de atributos de calidad en pepino. Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de UNICAUCA: <http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol9-1/PEPINO.pdf>
16. Donis, J. (22 de Junio de 2015). Contribución a la eficiencia de la producción de tomate bajo condiciones de ambiente protegido y servicios productivos, en la finca La Democracia, Mataquescuintla, Jalapa y los Valles de San Rafael las Flores y Santa Rosa, Santa Rosa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1769.pdf
17. FAO.org. (2006). Pepino: fichas técnicas. Recuperado el 5 de Septiembre de 2013, de http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/PEPINO.HTM
18. FAO.org. (2010). Manejo integrado de enfermedades en tomate. Recuperado el 30 de Septiembre de 2013, de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1374s/a1374s05.pdf>

19. Fertilizer.com. (20 de junio de 2015). Requerimientos nutriciones de varios cultivos. . Recuperado el 30 de Septiembre de 2013, de <http://www.smart-fertilizer.com/requerimientos-nutricionales>

20. Guzmán, M. Z. (2006). El cultivo de tomate bajo invernadero. Recuperado el 18 de Agosto de 2013, de Boletín Técnico 21: <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/webbac/Documentos/Tomatebajoinvernadero.pdf>

21. Harry, A. & Mills, J.B. (1996). Plant analysis handbook II: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide (illustrate, revised). US, Benton Jones. V. 2.

22. Haifa. (20 de Septiembre de 2015). Recomendaciones nutriciones para tomate, en campo abierto, acolchado o túnel e invernadero. Obtenido de http://www.haifa-group.com/spanish/files/Languages/Spanish/Tomate_2014.pdf.

23. Herrera, W. (Noviembre de 2011). Evaluación del rendimiento de dos variedades de papa (*S. tuberosum* L.). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. Recuperado el 21 de Septiembre de 2013, de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2692.pdf

24. INE. 2004. IV censo nacional agropecuario 2004: número de fincas censales, superficie cosechada, producción obtenida de cultivos anuales o temporales y viveros. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística. 1 CD.

25. INTA. (03 de Enero de 2013). Guía de enfermedades del tomate. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado el 17 de Agosto de 2010, de <http://inta.gob.ar/documentos/guia-de-consultas-enfermedades-del-tomate>

26. Jerónimo, V. T. (2009). *USAC* . Recuperado el 25 de Septiembre de 2015, de <http://biblos.usac.edu.gt/library/index.php?title=555383&lang=%20%20%20%20%20%20%20%20&query=@title=Special:GSMSearchPage@process=>

@subheadings=PROYECTOS%20AGRICOLAS%20CULTIVO%20@mode=&rcnum=1&mode.pdf

27. Lozano, J. T. (2011). Buenas prácticas agrícolas en sistemas de producción de tomate bajo invernadero. Recuperado el 17 de Agosto de 2013, de <http://books.google.com.gt/books?id=CJbIR3VDeZAC&pg=PA19&lpg=PA19&dq=poda+en+tomate+bajo+invernadero&source=bl&ots=BJALo7gORs&sig=WrdQGI99JzlqFUUXCy47KDIN8PI&hl=es&sa=X&ei=Mf1iUrGJAor29gT4hYBw&ved=0CD0Q6AEwAw#v=onepage&q=poda%20en%20tomate%20bajo%20invern>
28. MAGA. (22 de Junio de 2015). El agro en cifras 2014. Recuperado el 04 de Mayo de 2014, de Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, <http://web.maga.gob.gt/download/1agro-cifras14.pdf>
29. MAGA. (Noviembre de 2013). El agro en cifras. Recuperado el 04 de Mayo de 2015, de Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, <http://web.maga.gob.gt/download/El-agro-en-cifras-small.pdf>
30. Moreno, H., Ibáñez, S., & Gisbert, J. (3 de Junio de 2015). Universidad Politecnica de Valencia. Obtenido de Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural: <https://riunet.upv.es/bistream/handle/10251/13675/Alfisoles.pdf?sequence=4>
31. Nuez, F. (1999). El cultivo de tomate. Madrid, España: Mundi Prensa.
32. Ortiz Romero, H., Enríquez Ruvalcaba, V., Rosa Partida, S De la., Dávila Lezama, M de R. & Leyva Ovalle, O. (2013). Pepino americano o europeo?. Recuperado el 10 de Septiembre de 2013, de Hortalizas, <http://www.hortalizas.com/variedades-de-semillas/centroamerica/pepino>
33. Pilonés Antigua, GT. (2013). Pilonés de Antigua S.A. Recuperado el 20 de Septiembre de 2013, de <http://www.pilonés.com/hortalizas.php>
34. Rodríguez, R. (1997). Cultivo moderno del tomate. 2 ed. Madrid, España: Mundi Prensa.

35. SAGARPA & CONACYT.MX. (s.f.). Inteligencia de mercado de tomate. Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de <http://intranet.cibnor.mx/personal/bmurillo/docs/inteligencia-mercado-tomate.pdf>
36. SAGARPA. (2011). Estudios de oportunidades de mercado e inteligencia comercial y estudios de logística comercial de tomate. Recuperado el 30 de Septiembre de 2013, de http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/TOMATE.pdf
37. Sakata.com. (2013). Sakate seed. Recuperado el 19 de Septiembre de 2013, de <http://www.sakata.com.gt/es/tomate-variedades.html>
38. Sancho, H. (2011). Informaciones agronómicas No. 36. Recuperado el 18 de Agosto de 2013, de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/765C8D66598A491B852579A3007A3289/\\$FILE/Curvas%20de%20Absorci%C3%B3n.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/765C8D66598A491B852579A3007A3289/$FILE/Curvas%20de%20Absorci%C3%B3n.pdf)
39. Saravia Chavez, F. M. (2004). Elaboración de curvas de absorción de nutrientes para la variedad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mil) Alboran bajo condiciones de invernaderos en Zamorano, Honduras. Tegucigalpa, Honduras, El Zamorano. 25 p. Tesis Ing. Agr. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana "El Zamorano". Recuperado el 18 de Septiembre de 2013, de <http://catalogo.zamorano.edu/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=20417>
40. Syngenta.com. (2013). Cultivos hortícolas. Recuperado el 8 de Septiembre de 2013, de <http://www.syngenta.com/country/es/sp/cultivos/horticolos/pepino/Paginas/Semillas.aspx>

41. TecnoSeed.com. (2010). Productos. Recuperado el 10 de Septiembre de 2013, de Tecnoseed, <http://www.tecnoseed.com.br/produtos.php?g=2&cod=184>
42. UPIE & MAGA, GT. (2000). Primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la república de Guatemala a escala 1:250,000. MAGA. 27 p.
43. USDA. (2010). Guía del cultivo de tomate en invernaderos. Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de Missisipi University Extensión Service, <http://msucares.com/espanol/pubs/p2419.pdf>
44. Visión Rural. (12 de enero de 2012). El tomate. Recuperado el 17 Agosto 2013, de http://www.staciondigital.com/visionrural/index.php?option=com_content&view=article&id=133:el-tomate&catid=40:vision-rural

9. Anexos



Figura 19A. Preparación de suelo



Figura 20A. Muestreo de suelo



Figura 21A. Tutorado del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado



Figura 22A. Floración y fructificación del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado



Figura 23A. Muestreo



Figura 24A. Cosecha del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), híbrido silverado



Figura 25A. Registro de temperatura y humedad del invernadero

Cuadro 20A. Rangos de suficiencia nutricional en las hojas tomate

%	N	2.8 - 4.2
	P	0.31 - 0.46
	K	3.52 - 5.08
	Ca	1.6 - 3.21
	Mg	0.36 - 0.49
ppm	Fe	84 - 112
	Mn	55 - 165
	Cu	6
	Zn	39

Fuente: (Harry A. Mills, 1996)

Cuadro 21A. Registros climáticos del invernadero

Mes	%			°C		
	Humedad máxima	Humedad mínima	Humedad media	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Temperatura media
Enero	81	11	46	41	15	28
Febrero	83	12	47	40	16	28
Marzo	80	14	47	42	16	29
Abril	81	14	47	43	18	30
Mayo	78	10	44	41	18	30
Junio	80	10	45	40	17	29
Julio	81	10	46	40	17	29
Agosto	85	11	48	39	18	29
Septiembre	85	11	48	42	16	29
Octubre	83	11	47	42	16	29
Noviembre	82	12	47	41	16	28
Diciembre	80	12	46	42	15	28

Cuadro 22A. Absorción de elementos primarios

Días después del trasplante	Tejido	Concentración %			Absorción kg ha ⁻¹		
		N	P	K	N	P	K
0	Raíz	0.69	0.14	1.05	0.01	0.00	0.02
	Tallo	0.96	0.20	1.47	0.02	0.00	0.03
	Hojas	1.11	0.23	1.67	0.03	0.01	0.04
	TOTAL				0.06	0.01	0.09
15	Raíz	1.37	0.13	1.27	0.28	0.03	0.26
	Tallo	1.51	0.15	1.40	0.33	0.03	0.31
	Hojas	1.84	0.18	1.71	0.51	0.05	0.47
	TOTAL				1.13	0.11	1.04
30	Raíz	0.24	0.02	0.22	0.05	0.00	0.05
	Tallo	1.41	0.11	1.27	1.87	0.15	1.68
	Hojas	2.38	0.20	2.14	5.26	0.44	4.73
	TOTAL				7.18	0.59	6.46
45	Raíz	0.32	0.05	0.28	0.26	0.04	0.22
	Tallo	1.36	0.20	1.21	4.79	0.70	4.26
	Hojas	1.90	0.27	1.70	9.88	1.40	8.84
	TOTAL				14.92	2.15	13.32
60	Raíz	1.63	0.25	2.56	1.79	0.28	2.82
	Tallo	2.29	0.44	5.81	8.34	1.60	21.15
	Hojas	5.14	0.46	3.81	74.02	6.62	54.86
	Flores	4.57	0.57	4.44	1.83	0.23	1.78
	TOTAL				85.97	8.73	80.60
75	Raíz	2.04	0.27	2.81	2.51	0.33	3.46
	Tallo	2.56	0.43	5.44	15.00	2.52	31.88
	Hojas	4.78	0.43	3.38	81.32	7.32	57.50
	Flores	4.44	0.53	3.75	3.54	0.42	2.99
	TOTAL				102.37	10.59	95.83
90	Raíz	1.81	0.28	2.31	2.39	0.37	3.05
	Tallo	2.52	0.43	7.19	21.17	3.61	60.40
	Hojas	4.66	0.49	4.25	106.62	11.21	97.24
	Flores	4.55	0.53	4.25	5.46	0.64	5.10
	Frutos	3.42	0.37	3.06	56.09	6.07	50.18
	TOTAL				191.73	21.90	215.97
105	Raíz	1.19	0.24	0.88	1.67	0.34	1.23
	Tallo	2.14	0.40	4.75	18.83	3.52	41.80
	Hojas	4.21	0.44	3.38	134.72	14.08	108.16
	Flores	4.14	0.36	2.13	6.62	0.58	3.41
	Frutos	3.42	0.37	3.06	112.18	12.14	100.37
	TOTAL				274.02	30.65	254.97
120	frutos	3.42	0.37	3.06	157.05	16.99	140.52
	TOTAL				318.89	35.50	295.12

Cuadro 23A. Absorción de macroelementos secundarios

Días después del trasplante	Tejido	Concentración %		kg ha ⁻¹	
		Ca	Mg	Ca	Mg
0	Raíz	0.23	0.19	0.00	0.00
	Tallo	0.33	0.27	0.01	0.01
	Hojas	0.38	0.33	0.01	0.01
	TOTAL			0.02	0.02
15	Raíz	0.51	0.21	0.11	0.04
	Tallo	0.56	0.22	0.12	0.05
	Hojas	0.68	0.28	0.19	0.08
	TOTAL			0.42	0.17
30	Raíz	0.08	0.03	0.02	0.01
	Tallo	0.46	0.19	0.61	0.25
	Hojas	0.77	0.32	1.70	0.71
	TOTAL			2.33	0.97
45	Raíz	0.20	0.05	0.16	0.04
	Tallo	0.83	0.24	2.92	0.84
	Hojas	1.16	0.34	6.03	1.77
	TOTAL			9.11	2.65
60	Raíz	1.31	0.22	1.44	0.24
	Tallo	1.38	0.44	5.02	1.60
	Hojas	3.56	0.84	51.26	12.10
	Flores	1.19	0.52	0.48	0.21
	TOTAL			58.20	14.15
75	Raíz	1.31	0.22	1.61	0.27
	Tallo	1.19	0.46	6.97	2.70
	Hojas	3.69	0.76	62.78	12.93
	Flores	1.19	0.46	0.95	0.37
	TOTAL			72.31	16.26
90	Raíz	1.50	0.22	1.98	0.29
	Tallo	1.38	0.51	11.59	4.28
	Hojas	3.81	0.74	87.17	16.93
	Flores	1.50	0.54	1.80	0.65
	Frutos	0.31	0.16	5.08	2.62
	TOTAL			107.63	24.78
105	Raíz	1.25	0.16	1.75	0.22
	Tallo	1.44	0.41	12.67	3.61
	Hojas	3.06	0.60	97.92	19.20
	Flores	0.81	0.28	1.30	0.45
	Frutos	0.31	0.16	10.17	5.25
	TOTAL			123.81	28.73
120	frutos	0.31	0.16	14.24	7.35
	TOTAL			127.87	30.83

Cuadro 24A. Absorción de elementos menores

Días después del trasplante	Tejido	mg kg ⁻¹				g ha ⁻¹			
		Cu	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn
0	Raíz	16.00	15.00	60.00	11.00	0.02	0.02	0.09	0.02
	Tallo	23.00	21.00	84.00	16.00	0.05	0.05	0.18	0.04
	Hojas	26.00	24.00	96.00	18.00	0.06	0.06	0.24	0.04
	TOTAL					0.14	0.13	0.52	0.10
15	Raíz	7.00	14.00	84.00	9.00	0.15	0.29	1.75	0.19
	Tallo	8.00	16.00	93.00	10.00	0.18	0.35	2.05	0.22
	Hojas	10.00	20.00	113.00	11.00	0.28	0.55	3.12	0.30
	TOTAL					0.60	1.20	6.91	0.71
30	Raíz	2.00	4.00	15.00	2.00	0.04	0.08	0.32	0.04
	Tallo	7.00	18.00	87.00	10.00	0.93	2.38	11.52	1.32
	Hojas	11.00	29.00	147.00	18.00	2.43	6.41	32.52	3.98
	TOTAL					3.40	8.88	44.35	5.35
45	Raíz	2.00	6.00	30.00	5.00	0.16	0.48	2.40	0.40
	Tallo	8.00	23.00	127.00	19.00	2.82	8.10	44.70	6.69
	Hojas	10.00	31.00	178.00	26.00	5.20	16.12	92.56	13.52
	TOTAL					8.18	24.70	139.66	20.61
60	Raíz	15.00	45.00	465.00	40.00	1.65	4.95	51.15	4.40
	Tallo	15.00	75.00	65.00	15.00	5.46	27.30	23.66	5.46
	Hojas	20.00	45.00	245.00	65.00	28.80	64.80	352.80	93.60
	Flores	15.00	45.00	150.00	25.00	0.60	1.80	6.00	1.00
	TOTAL					36.51	98.85	433.61	104.46
75	Raíz	15.00	60.00	610.00	35.00	1.85	7.38	75.05	4.31
	Tallo	10.00	90.00	70.00	20.00	5.86	52.75	41.03	11.72
	Hojas	25.00	55.00	325.00	90.00	42.53	93.57	552.92	153.12
	Flores	20.00	50.00	200.00	40.00	1.59	3.98	15.94	3.19
	TOTAL					51.83	157.69	684.94	172.33
90	Raíz	15.00	45.00	560.00	40.00	1.98	5.94	73.92	5.28
	Tallo	20.00	75.00	90.00	20.00	16.80	63.00	75.60	16.80
	Hojas	20.00	40.00	260.00	70.00	45.76	91.52	594.88	160.16
	Flores	10.00	40.00	135.00	30.00	1.20	4.80	16.20	3.60
	Frutos	5.00	15.00	45.00	5.00	8.20	24.60	73.80	8.20
	TOTAL	65.00	200.00	1,045.00	160.00	73.94	189.86	834.40	194.04
105	Raíz	15.00	60.00	750.00	60.00	2.10	8.40	105.00	8.40
	Tallo	10.00	105.00	55.00	10.00	8.80	92.40	48.40	8.80
	Hojas	15.00	30.00	190.00	40.00	48.00	96.00	608.00	128.00
	Flores	5.00	20.00	75.00	5.00	0.80	3.20	12.00	0.80
	Frutos	5.00	15.00	45.00	5.00	16.40	49.20	147.60	16.40
	TOTAL					76.10	249.20	921.00	162.40
120	frutos	5.00	15.00	45.00	5.00	22.96	68.88	206.64	22.96
	TOTAL					82.66	268.88	980.04	168.96