


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES –IIA–

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a man in a red and white robe, likely a saint or scholar, standing on a white horse. Above him is a golden crown with a cross on top. To the left and right are golden castles or towers. The background is a light blue sky with a green hill at the bottom. The Latin motto "ORBIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CETERA" is inscribed around the perimeter of the seal.

DESCRIPCIÓN DE LA DINÁMICA DE ABSORCIÓN NUTRIMENTAL EN EL CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L. híbrido Diomedea), BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DOCENTE DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA (CEDA), GUATEMALA, C.A.

ELEOTH SAMUEL FUENTES PAZ

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 PEPINO (*Cucumis sativus* L. híbrido *Diomedes*), 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

ELEOTH SAMUEL FUENTES PAZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

**SISTEMAS DE PRODUCCION AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO**

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

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a woman in a red and white robe, likely the Virgin Mary, holding a book. Above her is a golden crown with a cross on top. To the left and right are golden castles. Below the central figure is a white horse with a rider. The background is blue with a green mountain range at the bottom. The seal is surrounded by a grey border with Latin text: "LETTERAS ORBIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA" at the top and "MATHEMATICIS INTER" at the bottom.

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 pepino (*Cucumis sativus* L. híbrido Diomede), 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 Licenciado.

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Eleoth Samuel Fuentes Paz

ACTO QUE DEDICO A:

Dios: Por regalarme el don de la vida y ser mi guía en todo momento, porque me permitiste elegir sabiamente mi profesión. Porque Tú sabes que con alegría, sufrimiento y con tu bendición alcancé esta meta en mi vida. "Los que sembraron con lágrimas, con regocijo segarán." Salmos 126:5

Mis padres: Otto y Sonia, por ser los pilares de mi vida, por su amor infinito, apoyo incondicional, sabiduría y consejos oportunos. Por ser los primeros mentores en mi vida y ser mi ejemplo a seguir. Éste logro es nuestro, pues con alegrías, esfuerzo y dedicación hemos alcanzado.

Mis hermanos: Bryan y Dayana, por ser el más grande regalo de la vida y los primeros amigos que conocí, por su apoyo, amor y por creer en mí. "Sabiendo que tu alma va por el buen camino, te deseo que goces de buena salud y que todos tus caminos te den satisfacción" 3 Juan 1:2

Mis abuelos: Amalia López, Julia Paz (Q.E.P.D.) y Pedro Fuentes (Q.E.P.D.), por su amor, consejos, regaños, alegría y entusiasmo.

Mi mejor amiga: Astrid, por tu apoyo incondicional, por soportar mi mal genio y compartir mil aventuras conmigo. Porque con tu ayuda hoy es posible obtener este logro. "Si uno está solo, lo pueden atacar; pero acompañado, podrá resistir" Eclesiastés 4:11

Mis amigos: Mike, Ticho, Hugo, por tantas vivencias entre buenos y malos momentos. "Una respuesta honesta es una muestra de amistad verdadera." Proverbios 24:26

AGRADECIMIENTOS

“Camina solo y llegarás más rápido. Camina acompañado y llegarás más lejos”, mis sinceros agradecimientos a:

La Escuela Nacional Central de Agricultura, por sembrar en mí la semilla del conocimiento, la cual dio sus frutos durante el proceso de formación profesional que con mucho anhelo alcance.

Al laboratorio de suelo-planta-agua “Salvador Castillo Orellana”, por su inestimable 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.

Al Dr. Aníbal Sacbajá, por brindarme su tiempo y su valioso conocimiento, orientándome y aconsejándome en el transcurso de esta investigación.

A mi muy querido amigo, Oswaldo Orellana, por estar siempre dispuesto a ayudar a quien lo necesite, por brindarme consejos y ser un maestro de la vida.

Al Dr. Dimitri Santos, porque sin su valioso apoyo no hubiera sido posible la realización de esta investigación, más por sobre todo, gracias por su valiosa amistad.

A los compañeros y profesores que contribuyeron en mi gestación académica, no alcanzaría el papel para plasmar todos lo que quisiera expresar, más bien les dedico mis más sinceras y humildes gracias.

“¿Quién es sabio y entendido entre ustedes? Que lo demuestre con su buena conducta, mediante obras hechas con la humildad que le da su sabiduría. Santiago 3:13”

Índice general

Contenido	Página
1 Introducción	1
2 Marco teórico	4
2.1 Marco conceptual	4
2.1.1 Generalidad botánica.....	4
2.1.2 Taxonomía.....	5
2.1.3 Fenología del cultivo	5
2.1.4 Propiedades del fruto de pepino	6
2.1.5 Requerimientos edafoclimaticos del cultivo	8
2.1.6 Absorción y extracción de nutrientes en el cultivo	9
2.1.7 Plagas y enfermedades	11
2.1.8 Importancia económica del cultivo a nivel mundial	12
2.1.9 Importancia económica del pepino en Guatemala.....	14
2.1.10 Curvas de crecimiento.....	15
2.1.11 Estudios de absorción de nutrientes	17
2.1.12 Antecedentes del tema de investigación	25
2.2 Marco referencial	26
2.2.1 Ubicación geográfica	26
2.2.2 Clima	26
2.2.3 Zona de vida.....	27
2.2.4 Superficie.....	27
2.2.5 Suelos.....	27
2.2.6 Características del invernadero	29
3 Objetivos.....	30
3.1 General:	30
3.2 Específicos:.....	30
4 Metodología	31
4.1 Hibrido.....	31
4.2 Características físicas y químicas del suelo.....	31
4.3 Parcela	32
4.4 Muestreo de material vegetal	33
4.5 Manejo del estudio	34

4.5.1	Preparación del terreno	34
4.5.2	Siembra	34
4.5.3	Tutorado	35
4.5.4	Podas y deshije	35
4.5.5	Control de malezas	35
4.5.6	Control de plagas y enfermedades.....	35
4.5.7	Fertirriego	35
4.5.8	Cosecha	37
4.5.9	Variables para la describir la dinámica nutrimental	37
5	Resultados y discusión.....	39
5.1	Biomasa.....	39
5.1.1	Materia Fresca	39
5.2	Absorción de macroelementos primarios (N, P, K)	41
5.2.1	Nitrógeno.....	41
5.2.2	Fosforo	43
5.2.3	Potasio	44
5.3	Absorción de macroelementos secundarios (Ca y Mg).....	46
5.3.1	Calcio	46
5.3.2	Magnesio.....	47
5.4	Absorción de microelementos (Cu, Zn, Fe y Mn).....	48
5.4.1	Cobre	48
5.4.2	Zinc	49
5.4.3	Hierro	50
5.4.4	Manganeso.....	52
5.5	7.4. Extracción total de nutrientes.....	53
6	Conclusiones.....	55
7	Recomendaciones.....	56
8	Bibliografía	57
9	Anexos	62

Índice de Figuras

Figura	Página
Figura 1. Curva de crecimiento de cultivos anuales	16
Figura 2. Curva de crecimiento de cultivos perennes.....	16
Figura 3. Taxonomía de suelos del CEDA	28
Figura 4. Parcela experimental.....	33
Figura 5. Curva de acumulación de materia seca en el ciclo de cultivo de pepino híbrido diomede	41
Figura 6. Curva de absorción de nitrógeno en el cultivo de pepino diomede	43
Figura 7. Curva de absorción de fósforo en el cultivo de pepino híbrido diomede	44
Figura 8. Curva de absorción de potasio en el cultivo de pepino híbrido diomede.....	45
Figura 9. Curva de absorción de calcio en el cultivo de pepino híbrido diomede	47
Figura 10. Curva de absorción de magnesio en el cultivo de pepino híbrido diomede.....	48
Figura 11. Curva de absorción de cobre en el cultivo de pepino híbrido diomede	49
Figura 12. Curva de absorción de zinc en el cultivo de pepino híbrido Diomede	50
Figura 13. Curva de concentración de hierro en el cultivo de pepino híbrido diomede	51
Figura 14. Curva de absorción de manganeso en el cultivo de pepino híbrido diomede....	52
Figura 15. Porcentajes de absorción de nutrientes por etapa en el cultivo de pepino híbrido diomede	54
Figura 16A. Preparación de suelo y siembra	62
Figura 17A. Muestreo de suelos.....	62
Figura 18A. Tutorado del cultivo de pepino híbrido diomede	63
Figura 19A. Floración y cuajado de frutos en el cultivo de pepino híbrido diomede	63
Figura 20A. Toma de peso fresco	64
Figura 21A. Medición de temperatura y humedad relativa.....	65

Índice de cuadros

Cuadro	Página
Cuadro 1. Etapas fenológicas de <i>C. sativus</i> L.	6
Cuadro 2. Composición nutricional del Pepino	6
Cuadro 3. Ácidos grasos y aminoácidos presentes en <i>C. sativus</i> L.....	7
Cuadro 4. Hidratos de carbono, presentes en <i>C. sativus</i> L.....	7
Cuadro 5. Temperatura requerida por etapa de desarrollo del cultivo	8
Cuadro 6. Cantidad de nutrientes absorbidos y extraídas por el cultivo de pepino.....	10
Cuadro 7. Extracciones de nutrientes del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	10
Cuadro 8. Absorción de elementos nutritivos para el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.).....	10
Cuadro 9. Plagas principales del cultivo de <i>C. sativus</i> L.....	11
Cuadro 10. Enfermedades principales en el Cultivo de <i>C. sativus</i> L.....	12
Cuadro 11. Producción mundial de <i>C. sativus</i> L., 2012	13
Cuadro 12. Principales países importadores de <i>C. sativus</i> , a nivel mundial (2012).....	13
Cuadro 13. Principales países exportadores de <i>C. sativus</i> , 2012.....	14
Cuadro 14. Importancia económica del pepino en Guatemala	14
Cuadro 15. Ejemplo de dosis de fertilización a partir de la extracción total	20
Cuadro 16. Requerimientos de nutrientes de sandía bajo fertirrigación	21
Cuadro 17. Cambio de la dosis de Potasio en un programa de fertilización de <i>C. lunatus</i> L.....	22
Cuadro 18. Análisis físico del suelo	31
Cuadro 19. Análisis químico de suelo	32
Cuadro 20. Muestreo por etapa fenológica	33
Cuadro 21. Concentraciones de los elementos en la solución nutritiva	36
Cuadro 22. Métodos de determinación para la cuantificación de elementos	37
Cuadro 23. Acumulación de materia seca y fresca por planta durante el ciclo de cultivo de pepino híbrido diomede.....	39
Cuadro 24. Peso seco por órgano durante el ciclo de cultivo de pepino híbrido diomede .	40
Cuadro 25. Absorción total de nutrientes para todo el ciclo del cultivo	53
Cuadro 26. Recomendación de aplicación de nutrientes	56
Cuadro 27A. Rangos de suficiencia nutricional en las hojas pepino.....	65
Cuadro 28A. Registros climáticos del invernadero	65
Cuadro 29A. Concentración y absorción de macronutrientes primarios	66
Cuadro 30A. Concentración y absorción de macronutrientes secundarios	67
Cuadro 31A. Concentración y absorción de micronutrientes	68

“DESCRIPCIÓN DE LA DINÁMICA DE ABSORCIÓN NUTRIMENTAL EN EL CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L. híbrido *Diomede*), BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DOCENTE DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA (CEDA), GUATEMALA C.A.”

"DINAMIC DESCRIPTION OF NUTRIENT ABSORPTION IN THE CULTIVATION OF CUCUMBER (*Cucumis sativus* L. hybrid *Diomede*), UNDER GREENHOUSE CONDITIONS IN THE EXPERIMENTAL TEACHING CENTER OF THE SCHOOL OF AGRONOMY (CEDA), GUATEMALA C.A."

Resumen

El presente trabajo se llevó a cabo en el Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA) y tuvo como objetivo principal describir la dinámica de absorción de nutrientes en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L. híbrido *Diomede*). Durante el estudio, se realizaron nueve muestreos a lo largo de 120 días, con los cuales se determinaron los contenidos de nutrientes extraídos por los órganos de la planta: raíz, tallo, hojas, flores, zarcillos y frutos; haciendo uso de la concentración de nutrientes y el peso seco en cada órgano de la planta, se obtuvieron las curvas de absorción de nutrientes, así como la demanda de extracción para este híbrido.

El trabajo fue realizado 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.

Se utilizó una solución nutritiva la cual 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.

Para producir 167.2 toneladas de frutos por hectárea, el cultivo utilizó: 442.90 kg ha⁻¹ de potasio, 399.58 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 363.94 kg ha⁻¹ de calcio, 75.30 kg ha⁻¹ de fósforo, 71.44 kg ha⁻¹ de magnesio, 2.13 kg ha⁻¹ de hierro, 0.63 kg ha⁻¹ de zinc, 0.40 kg ha⁻¹ de manganeso y 0.17 gr ha⁻¹ de cobre.

Con base en la curva de crecimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L. híbrido Diomede), se determinó que en la etapa de fructificación se generó el 70% del total de la materia seca. El 49% de la materia seca total fue generada por los frutos. En base a las curvas de absorción, se determinó que en la fase vegetativa el cultivo utilizó menos del 1% de todos los nutrientes. Durante la fase de floración, el cultivo utilizó menos del 30% de los nutrientes, y durante la etapa de fructificación y cosecha se empleó más del 70% de todos los nutrientes.

1 Introducción

La producción de pepino (*Cucumis sativus* L.), a nivel mundial está cobrando auge; cuyo consumo mundial es de 3.09 kg per cápita, para el año 2 012 (BANGUAT, 2013). Un alto porcentaje de las tierras cultivables de Guatemala está dedicado a la producción de hortalizas, específicamente cuarenta y seis mil hectáreas; entre éstas el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), con una producción de 9 058 700 kilogramos, a nivel nacional para el año 2014.

El híbrido de pepino (*Cucumis sativus* L.), diomede en condiciones de manejo óptimas presenta un rendimiento de 91 toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$), rendimiento no obtenido por productores guatemaltecos que utilizan dicho material. Orellana (20 de diciembre 2014). Municipio de Parramos, departamento de Chimaltenango, Guatemala; indica que con su grupo de productores, aplican al cultivo del híbrido diomede, triple 15 y urea cada quince días, utilizando hasta 390 kg de cada fertilizante por hectárea al final del ciclo, dosis con las cuales obtienen un rendimiento de 29 500 kilogramos por hectárea. Escobar (15 de febrero 2015). Aldea Jute, municipio de Usumatlán, departamento de Zacapa, Guatemala; manifestó que en la aldea, siembra el híbrido tropicuke, aplicando $135\ kg\ ha^{-1}$ de triple quince mensualmente con lo que obtiene un rendimiento de 27 600 kilogramos por hectárea.

Los rendimientos bajos obtenidos por los productores, se deben a la escasez de información nutrimental del cultivo y a la aplicación de fertilizantes en el momento inadecuado; por lo que los productores recurren en gastos mayores respecto a insumos agrícolas, lo cual resulta en pérdida de nutrientes, desperdicio de fertilizantes y contaminación ambiental, que influye de manera directa en el rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), perjudicando a la economía de todos los involucrados en la cadena comercial de dicho cultivo.

Existe una necesidad tangible de incrementar el rendimiento, calidad y rentabilidad del cultivo, lo cual puede mejorar los precios de las cosechas obtenidas y prolongar la permanencia del producto en el mercado (Linares, 2012).

Con lo descrito anteriormente se resalta la necesidad de generar información que permita lograr un máximo desempeño, rendimiento y calidad del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), por lo cual con la presente investigación se planteó una metodología para crear información real sobre la demanda nutrimental del cultivo, en la cual se identifiquen las necesidades nutricionales en cada etapa fenológica del mismo; como una alternativa para maximizar el aprovechamiento de los fertilizantes, contribuyendo a que el cultivo exprese su máximo potencial genético, minimizando los costos de producción y cumplir con los requerimientos de calidad que el mercado demanda, mejorando la economía de los productores dedicados a esta actividad agrícola.

De tal manera que se busca precisión en los criterios utilizados en la determinación de la fertilización, si se desea incrementar la productividad agrícola del nuevo material genético disponible que utilizan los productores. Si se lograra altos rendimientos, calidad y rentabilidad los cuales han sido objetivos importantes de agricultores, se tendría un impacto positivo en los ingresos de familias guatemaltecas dedicadas a la producción agrícola (Lazcano, 1999).

Los estudios de absorción, permiten conocer la cantidad de un nutrimento que es absorbida por determinado cultivo para producir un rendimiento dado en un tiempo definido; estos estudios generan información que contribuye a dar solidez a los programas de nutrición. Las curvas de absorción representan las cantidades de un nutrimento que fueron absorbidas por la planta en su ciclo de vida. En la gráfica se relaciona las absorciones de los nutrimentos en kilogramos o gramos por hectárea, en función de la edad del cultivo total o por órganos; y la curva de crecimiento, que es una expresión generalizada del crecimiento en las plantas. 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. (Bertsch, 2005).

Existe la necesidad de generar información precisa y sustentada por bases científicas para lograr un adecuado manejo del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), en Guatemala, de tal manera que la presente investigación se planteó para desarrollar información precisa

sobre el proceso de absorción de nutrientes por parte de la planta; generando datos reales sobre la demanda nutrimental del cultivo, contribuyendo a ajustar las épocas de aplicación de los fertilizantes.

El objetivo del estudio fue describir la dinámica de absorción nutrimental en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L. híbrido diomede), a través de las curvas de absorción de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn; con lo cual se obtuvieron las cantidades mínimas a las que debe tener acceso el cultivo por etapa fenológica, para producir un rendimiento de 167.2 toneladas de fruto por hectárea, a los 120 días después de su trasplante.

El 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 cuya temperatura máxima fue de 39 °C, así mismo la temperatura mínima fue de 28 °C y la humedad relativa de 88%, con riego diario y fertirriego semanal.

El híbrido fue sembrado directamente al suelo. Dicho suelo taxonómicamente pertenece al orden alfisol, físicamente es franco arcillo arenoso, con pH moderadamente ácido y fertilidad potencialmente alta.

2 Marco teórico

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Generalidad botánica

El pepino (*Cucumis sativus L.*), es una hortaliza herbácea anual, de la familia de las cucurbitáceas, de crecimiento rastrero o trepador, sus tallos son blandos, flexibles, largos, huecos y algo espinosos (FAO, 2006).

2.1.1.1 Raíz

El sistema radicular consiste en una fuerte raíz principal que alcanza de 1.0 - 1.20 metros de largo, ramificándose en todas las direcciones principalmente entre los primeros 25 a 30 centímetros del suelo (Bionica, 2010).

2.1.1.2 Tallo

Sus tallos son rastreros, postrados y con zarcillos, con un eje principal que da origen a varias ramas laterales principalmente en la base, entre los 20 y 30 primeros centímetros. Son trepadores, llegando a alcanzar de longitud hasta 3.5 metros en condiciones normales (Bionica, 2010).

2.1.1.3 Hoja

Las hojas son simples, acorazonadas, alternas, pero opuestas a los zarcillos. Posee de 3 a 5, lóbulos angulados y triangulares, de epidermis con cutícula delgada, por lo que no resiste evaporación excesiva (Bionica, 2010).

2.1.1.4 Flor

Es una planta monoica, dos sexos en la misma planta, de polinización cruzada. Algunas variedades presentan flores hermafroditas. Las flores se sitúan en las axilas de las hojas en racimos y sus pétalos son de color amarillo. Estos tres tipos de flores ocurren en diferentes proporciones, dependiendo del cultivar. Al inicio de la floración, normalmente se presentan sólo flores masculinas; a continuación, en la parte media de la planta están en igual proporción, flores masculinas y femeninas y en la parte superior de la planta existen predominantemente flores femeninas. De manera general, los días cortos, temperaturas

bajas y suficiente agua, inducen la formación de mayor número de flores femeninas y los días largos, altas temperaturas, sequía, llevan a la formación de flores masculinas (Bionica, 2010).

La polinización se efectúa a nivel de campo principalmente a través de insectos (abejas). En los cultivares híbridos de tendencia ginóica, al haber cruce por abejas, pero insuficiente polinización, se producen deformaciones de los frutos, volviéndose no comercializables (Bionica, 2010).

2.1.1.5 Fruto

Se considera como una baya falsa (pepónide), alargado, mide aproximadamente entre 15 y 35 cm de longitud. Además es un fruto carnoso, más o menos cilíndrico, exteriormente de color verde, amarillo o blanco e interiormente de carne blanca. Contiene numerosas semillas ovaladas de color blanco amarillento y de tamaño mediano (FAO, 2006). En estadíos jóvenes, los frutos presentan en su superficie espinas de color blanco o negro (Bionica, 2010).

2.1.2 Taxonomía

Origen: Asia, domesticado en la India

Nombre común: pepino

Nombre científico: *Cucumis sativus*

Especie *Cucumis sativus* L.

Familia: Cucurbitáceae

2.1.3 Fenología del cultivo

El ciclo de *C. sativus* L., es corto y varía de un lugar a otro dependiendo de las condiciones edafoclimáticas, del cultivar sembrado y del manejo agronómico que reciba durante su desarrollo, las etapas fenológicas del cultivo se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Etapas fenológicas de *C. sativus* L.

Estado fenológico	Días después de la siembra
Emergencia	4 - 5
Inicio de formación de guías	15 - 24
Floración	27 - 34
Cosecha	43 - 50
Fin de cosecha	75 - 90

Fuente: (Guadalupe, 2004)

2.1.4 Propiedades del fruto de pepino

La composición nutricional de *C. sativus* L. por 100 gramos de porción comestible se detalla en el cuadro 2; en donde se observa una amplia gama de vitaminas y minerales que aporta.

Cuadro 2. Composición nutricional del Pepino

Aporte por ración		Minerales		Vitaminas	
Energía (kcal)	13.28	Calcio (mg)	18.45	B1 Tiamina (mg)	0.04
Proteína (g)	0.63	Hierro (mg)	0.2	B2 Riboflavina (mg)	0.03
Hidratos de carbono (g)	1.9	Yodo (mg)	0.3	Niacina (mg)	0.36
Fibra (g)	0.7	Magnesio (mg)	7.3	B6 Piridoxina (g)	0.06
Grasa tota (g)	0.2	Zinc (mg)	0.14	Ácido fólico (g)	19.4
AGS (g)	0.07	Selenio (g)	0.8	B12 Cianocobalamina	0
AGM (g)	0.01	Sodio (mg)	0.3	Ácido ascórbico (mg)	7
AGP (g)	0.09	Potasio (mg)	140	Vitamina A (g)	28.17
AGP/AGS (g)	1.27	Fósforo (mg)	11		
Agua (g)	96.6				

Fuente: (Camacho, 2011)

En el cuadro 3, se indica las proporciones de ácidos grasos y aminoácidos presentes en *Cucumis sativus* L.

Cuadro 3. Ácidos grasos y aminoácidos presentes en *C. sativus* L.

Ácidos grasos		Aminoácidos	
Mirístico C14:0 (g)	0	Alanina (mg)	21.7
Palmítico C16:0 (g)	0.06	Arginina (mg)	45
Estearico C18:0 (g)	0.01	Ácido aspártico (mg)	37
Omega 3 (g)	0	Ácido glutámico (mg)	178
Ácidos grasos cis	0	Cistina (mg)	3.6
AGP cis	0	Fenilalanina (mg)	14
Palmitoleico C16:1 (g)	0	Glicina (mg)	22
Oleico C18:1 (g)	0.01	Histidina (mg)	8
Linoleico C18:2 (g)	0.05	Isoleucina (mg)	19
Linolénico C18:3 (g)	0.04	Leucina (mg)	25
Omega 6 (g)	0	Lisina (mg)	26
Ácidos grasos trans	0	Metionina (mg)	6
Araquidónico C18:4 (g)	0	Prolina (mg)	14
Eicosapentaenoico C20:5 (g)	0	Serina (mg)	18
Docosapentaenoico C20:5 (g)	0	Tirosina (mg)	10
Docosahexaenoico C20:6 (g)	0	Treonina (mg)	16
Omega 3/Omega 6	0	Triptófano (mg)	4
AGP trans	0		

Fuente: (Camacho, 2011)

En el cuadro 4, se presenta la composición de hidratos de carbono presentes en *Cucumis sativus* L., en el cual se observa que posee 0.9 g de glucosa al igual que de fructosa.

Cuadro 4. Hidratos de carbono, presentes en *C. sativus* L.

Hidratos de carbono simples (g)		Ácidos orgánicos (g)	
Glucosa	0.9	Ac. Orgánicos disponibles	0.26
Fructosa	0.9	Oxálico	0
Galactosa	0	Cítrico	0.02
Sacarosa	0	Málico	0.24
Lactosa	0	Ac. Tartárico	0

Continuación cuadro 4

Ácidos orgánicos (g)		Fitoesteroles (mg)		Hidratos de carbono no disponibles (g)	
Maltosa	0	Ac. Acético	0	Maltosa	0
Oligosacáridos	0	Ac. Láctico	0	Oligosacáridos	0
Ac. Orgánicos disponibles	0.26	Fitoesteroles totales	14	Polisac. No celu.solubles	0.2
Oxálico	0	Beta-sitoesterol	14	Polisac. No celu.insolubles	0.1
Cítrico	0.02	Campesterol	0	Celulosa	0.3
Málico	0.24	Estigmaesterol	0	Lignina	0.1
Ac. Tartárico	0	Estigamesterol D7	0	Almidón	0
Ac. Acético	0	Brásica-esterol	0		
Ac. Láctico	0	Avenaesterol D5	0		

Fuente: (Camacho, 2011)

2.1.5 Requerimientos edafoclimaticos del cultivo

2.1.5.1 Exigencias climáticas

A. Temperatura

La temperatura ideal para el cultivo es entre 20-25 ° Celsius, pero como temperaturas diurnas, así mismo las temperaturas nocturnas por debajo de 12 ° Celsius, afectan a la producción y desarrollo del cultivo. En el cuadro 5, se indican las temperaturas requeridas por etapa fenológica.

Cuadro 5. Temperatura requerida por etapa de desarrollo del cultivo

Etapa de desarrollo	Día temperatura (°C)	Noche temperatura (°C)
Germinación	27	27
Formación de planta	21	19
Desarrollo de fruto	19	16

Fuente: (Camacho, 2011)

B. Humedad relativa

La humedad relativa óptima para el día oscila entre 60-70%y durante la noche 70-90% (Camacho, 2011).

C. Lluvias

Las lluvias con falta de ventilación y temperatura óptima son problemáticas en este cultivo (Camacho, 2011).

D. Luz

Este cultivo es capaz de desarrollarse bien con menos de 12 horas de luz (Camacho, 2011).

2.1.5.2 Requerimientos edáficos

C. sativus, se cultiva desde las zonas costeras hasta los 1,200 metros sobre el nivel del mar. Se puede cultivar en una amplia gama de suelos fértiles y bien drenados; desde los arenosos hasta los franco-arcillosos, aunque los suelos francos que poseen abundante materia orgánica son los ideales para su desarrollo. Se debe contar con una profundidad efectiva mayor de 60 cm que facilite la retención del agua y el crecimiento del sistema radicular para lograr un buen desarrollo y excelentes rendimientos. En cuanto a pH, el cultivo se adapta a un rango de 5.5 - 6.8, soportando incluso pH hasta de 7.5; se deben evitar los suelos ácidos con pH menores de 5.5 (Hochmuth, 2001).

2.1.6 Absorción y extracción de nutrientes en el cultivo

En la fertilización de *C. sativus* L. debe haber un balance nutricional con todos los elementos necesarios para el buen desarrollo del pepino. Aún más importante que la fertilización, es manejar correctamente el agua de riego, el cual es un factor crítico para obtener una óptima nutrición ya que toda la nutrición que logra el cultivo es a través del agua en el suelo. Si se riega mucho se lixivian y se diluyen algunos nutrientes. Si se riega poco la planta no tiene disponibilidad de los mismos (Lazcano, 1999).

El balance de los nutrientes es tan importante como las relaciones que deben existir entre el N: K, el K: Ca y el Ca: Mg, con el propósito de evitar tener antagonismo y poder controlar el desarrollo de las plantas y su resistencia a los factores ambientales o enfermedades. Una nutrición bien balanceada permite tener el desarrollo adecuado de la planta para optimizar el rendimiento (Lazcano, 1999). En el cuadro 6, se indica las

cantidades de nutrientes absorbidas y extraídas por el cultivo de *C. sativus*, para un rendimiento de una tonelada.

Cuadro 6. Cantidad de nutrientes absorbidos y extraídas por el cultivo de pepino

Órgano cosecharle	Absorción total (kg)					Extracción (kg)					Rendimiento
	N	P	Ca	Mg	S	N	P	Ca	Mg	S	
Fruto	4	0.7	5.3	1.1	-	1.5	0.5	-	-	-	1 Tonelada

Fuente: (Ciampitti & García, 2007)

En el cuadro 7, se presentan las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio para un rendimiento de 30,000 kilogramos de pepino por hectárea.

Cuadro 7. Extracciones de nutrientes del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

kg ha ⁻¹			
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Rendimiento
50	30-40	70-80	30,000 kg ha ⁻¹

Fuente: (Paz, 2004)

En el cuadro 8, se indica la absorción de elementos (azufre, magnesio, nitrógeno, fósforo y potasio), para un rendimiento de 40,000 kilogramos de pepino por hectárea.

Cuadro 8. Absorción de elementos nutritivos para el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

kg ha ⁻¹					
S	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Rendimiento
5	60	170	50	120	40,000 kg ha ⁻¹

Fuente: (Paz, 2004)

2.1.7 Plagas y enfermedades

2.1.7.1 Plagas

En el cuadro 9, se muestran las plagas que comúnmente atacan al cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), así mismo se indica el daño que ocasiona al mismo y algunos ingredientes activos para su control.

Cuadro 9. Plagas principales del cultivo de *C. sativus* L.

Nombre común	Nombre científico	Daño que ocasiona	Control (I.A.)
Minador	<i>Liriomyza sp.</i>	Túneles en el follaje	Acetamiprid, Clorfenapir, Bifentrin, Cypemetrina, Profenofos, Spinosad y Oxamilo
Mosca blanca y Áfidos	<i>Bemisia tabaci</i> , <i>Trialeurodes vaporarium</i> , <i>Aphis gossypii</i> y <i>Myzus persicae</i>	Transmisión de Virus	Aceite agrícola, Thiamethoxam, Pymetrozine, Imidacloprid Carbufuran
Lepidópteros	Varias especies	Daño mecánico al follaje, fruta.	Spinosad, Emmamectin, Bacillus thuringiensis, Indoxacarb y Cypemetrina
Gallina ciega, gusano alambre, sinfilido y nematodos	<i>Phyllophaga sp</i> , <i>Aelos sp.</i> Y otras especies, <i>Scutigerella immaculata</i> (Newport), nematodos varias	se alimenta del bulbo, raíces y pelos absorbentes	Beauveria bassiana, Bifentrin, Diazinon, Carbofuran e Imidacloprid
Trips	<i>Thrips tabaci</i>	Se alimenta del follaje y están en las axilas por lo general	Thiamethoxam, Cypermetrina, Fenpropathrin, Deltametrina Imidacloprid y Lambda

Fuente: (FAO, Pepino)

2.1.7.2 Enfermedades

Las enfermedades que comúnmente atacan al cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), así como el daño que ocasiona al mismo y algunos ingredientes activos para su control, se resaltan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Enfermedades principales en el Cultivo de *C. sativus* L.

Nombre común	Nombre científico	Síntomas	Control (I.A.)
Mildiú lanoso	<i>Pseudoperonospora</i> spp.	Áreas verde pálido como mosaico en las hojas de forma irregular. Achaparramiento de la planta.	Fosetil Al Azoxytrobin Fosfonato de potasio Cymoxanil+Mancozeb Metalaxyl+Mancozeb Dimethomorph+Mancozeb
Mildiú polvoso	<i>Sphaerotheca fuliginea</i> <i>Erysiphe cichoracearum</i>	Pequeñas manchas blancas sobre hojas y tallo.	Cyproconazol Azoxytrobin Azúfre Tebuconazole Difenoconazol
Damping off	<i>Phytophthora</i> spp. <i>Phytium</i> spp. <i>Fusarium</i> spp.	Amarillamiento en las hojas.	Banrot Carbedazim Thiabendazole Propamocarb
Mancha angular	<i>Pseudomonas syringae</i>	Manchas foliares como rayas.	Cobre antibióticos

Fuente: (FAO, Pepino)

2.1.8 Importancia económica del cultivo a nivel mundial

2.1.8.1 Producción mundial

La producción de *C. sativus* L. para el año 2012, la encabeza China, con 48 000 000 toneladas producidas. El cuadro 11, muestra el orden de producción, para el año 2012 de los principales países productores de pepino.

Cuadro 11. Producción mundial de *C. sativus* L., 2012

Posición	Región	Producción (t)
1	China, Continental	48 000 000
2	Turquía	1 741 878
3	Irán	1 600 000
4	Federación Rusa	1 281 788
5	Ucrania	1 020 600
6	Estados Unidos de América	901 060
7	España	713 200
8	México	640 508
9	Egipto	613 880
10	Japón	586 500
11	Polonia	520 868
12	Indonesia	511 525
13	Iraq	505 000
14	Uzbekistán	435 000
15	Países Bajos	410 000
16	Kazajstán	356 000
17	República de Corea	288 071
18	Tailandia	265 000
19	Territorio Palestino	260 000
20	Alemania	244 347

Fuente: (FAO, 2015)

2.1.8.2 Importaciones y exportaciones

Con respecto a las importaciones mundiales de *C. sativus* L., de los principales países importadores del mundo, Estados Unidos de América se coloca en la primera posición con 528 944 000 U\$ importados. La cifra de Importación Mundial para el año 2012, es de 2 191 217 000 U\$, como se indica en el cuadro 12.

Cuadro 12. Principales países importadores de *C. sativus*, a nivel mundial (2012)

País	U\$
E.E.U.U.	528,944,000
Alemania	579,380,000
Federación Rusa	266,475,000
Reino Unido	162,432,000
Holanda	136,707,000
Francia	77,093,000

Continuación cuadro 12

País	U\$
República Checa	53,716,000
Canadá	53,099,000
Bélgica	49,913,000
Suecia	40,873,000

Fuente: (Sagarpa, 2012)

En el tema de las exportaciones de pepino el principal exportador fue México, exportando 498 822 toneladas, como se observa en el cuadro 13.

Cuadro 13. Principales países exportadores de *C. sativus*, 2012

País	Producción (t)
México	498,822
España	449,395
Países Bajos (Holanda)	382,829
Jordania	114,396
Turquía	105,041
Irán	75,921
Canadá	69,237
Estados Unidos de América	45,062
Bélgica	34,944
Grecia	24,396

Fuente: (Sagarpa, 2012)

2.1.9 Importancia económica del pepino en Guatemala

Los datos de producción nacional, importación y exportación de pepino (*Cucumis sativus* L.), en Guatemala, se detallan en el cuadro 14.

Cuadro 14. Importancia económica del pepino en Guatemala

Año	Producción nacional (qq)	Importación (qq)	Exportación (qq)
2005	74,700	1,419	63,018
2006	79,163	1,722	64,954

Continuación cuadro 14

Año	Producción nacional (qq)	Importación (qq)	Exportación (qq)
2007	80,055	1,925	64,525
2008	80,948	2,128	64,095
2009	81,840	2,331	63,666
2010	84,161	2,574	64,183
2012	87,374	3,020	64,270
2013	79,341	3,243	64,314
2014	90,587	3,466	64,358

Fuente: (Linares, 2012)

2.1.10 Curvas de crecimiento

Las curvas de crecimiento son una expresión generalizada del crecimiento de las plantas. Estas curvas se realizan mediante la medición de variables como el contenido de materia seca y/o altura, las cuales se relacionan con el tiempo de crecimiento del cultivo. El crecimiento de las plantas difiere de acuerdo al tiempo que necesita para completar su desarrollo por lo cual se clasifican en anuales y perennes (Bertsch, 2005).

2.1.10.1 Curvas de crecimiento de plantas anuales

En la figura 1, se observan el comportamiento de crecimiento que presentan las plantas anuales, observándose dentro de la curva de crecimiento 5 puntos importantes las cuales son:

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 fase en donde se produce una tasa de crecimiento que 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 (Rodríguez-Vargas, 2009).

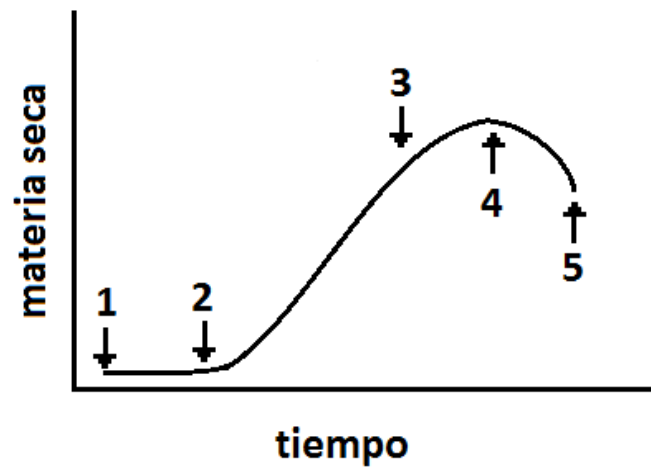


Figura 1. Curva de crecimiento de cultivos anuales

Fuente: (Rodríguez-Vargas, 2009)

2.1.10.2 Curvas de crecimiento en cultivos perennes

Como se observa en la figura 2, la curva de crecimiento es similar al inicio para establecer ciclos parciales y repetitivos de las tres fases centrales.

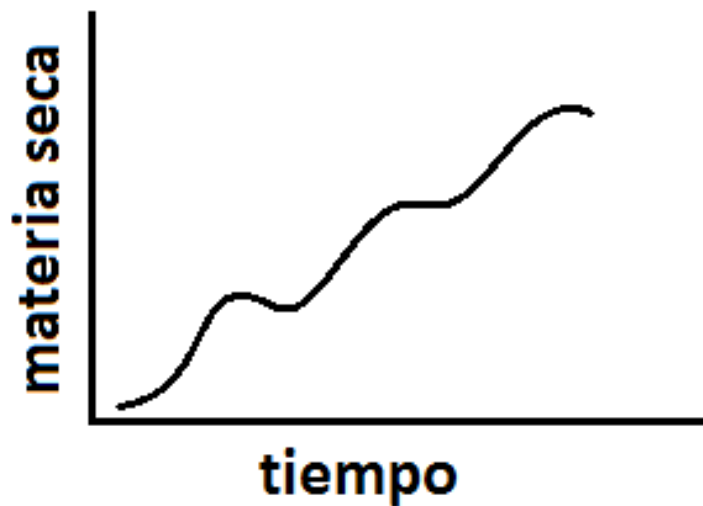


Figura 2. Curva de crecimiento de cultivos perennes

Fuente: (Rodríguez-Vargas, 2009)

La forma de ejemplificar este concepto hace referencia a un barril, el cual sugiere ser la planta a la cual se necesitan colocarlos distintos elementos que están ausentes o “limitantes” lo que permitirá seguir llenando (o aumentando el rendimiento) dicho barril. Es necesario indicar que el aumento del rendimiento del cultivo, no solo es atribuido por los elementos esenciales a la planta, sino también existen factores del agroecosistema que rigen el crecimiento de los cultivos. La curva de crecimiento permite obtener medidas relativamente simples del incremento en el peso seco de la planta (Rodríguez-Vargas, 2009) .

2.1.11 Estudios de absorción de nutrientes

2.1.11.1 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).

2.1.11.2 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).

2.1.11.3 **Procedimiento básico 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 altos (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).

2.1.11.4 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).

A. Extracción Total

a. 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).

Según Bertsch, en el cuadro 15 se indica, un ejemplo de dosis de fertilización a partir de la extracción total, para un rendimiento de café (*Coffea arabica* L.), de 1530 kg ha⁻¹, lo cual

es un equivalente a seis fanegas, es importante hacer notar que el estudio se llevó a cabo en un suelo del tipo andisol en Costa Rica. En el mismo se indican las condiciones para los cálculos; y el cálculo para N, P y K.

Cuadro 15. Ejemplo de dosis de fertilización a partir de la extracción total

Estimación de dosis de nutrientes para un rendimiento de café de 1530 kg ha⁻¹ (seis fanegas) en un andisol de Costa Rica			
Condiciones para el cálculo	Cálculos		
	N	P	K
	kg ha ⁻¹		
Requerimiento para 255 kg (una fanega)	1.3	0.1	1.7
Requisito de cosecha (1539 kg; 60 fanegas)	78	7	99
Requisito vegetativo	56	3	42
Requerimiento total	134	10	141
Cantidad presente en el suelo según el análisis.	0	44	468
Mínimo a aplicar para llenar las necesidades de planta y suelo.	134	7	50
Eficiencia del nutriente (%)	0.5	0.3	0.8
Dosis de elemento puro	268	22	63
Factor de corrección a formas presentes en los fertilizantes.	0	2.3	1.2
Dosis finales de nutrientes para decisión de compra. N 50 P ₂ O ₅ 75 K ₂ O	268		

Fuente: (Bertsch, 2005)

b. 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).

Según Bertsch, para ejemplificar esta situación en el cuadro 16, se presentan los datos de requerimiento de nutrientes de sandía (*Citrullus lunatus L.*), bajo fertirrigación.

Cuadro 16. Requerimientos de nutrientes de sandía bajo fertirrigación

Consumo total de nutrientes y cantidades exportadas en una cosecha de sandía, variedad Crimson Jewel, Puntarenas, Costa Rica				
Nutriente	Total (kg ha ⁻¹)	Consumo de nutrientes		1 t. de fruta (kg)
		Fruta * (kg ha ⁻¹)	Cant. Del total en la fruta (%)	
N	57	18	32	1.28
P	4	4	50	0.18
K	89	50	56	2
Ca	108	6	6	2.43
Mg	23	3	13	0.52

* Rendimiento de fruta = 44.4 t ha⁻¹

Fuente: (Bertsch, 2005)

En los datos del cuadro 17, se observa que el potasio es uno de los elementos que la sandía extrae en mayor cantidad en la fruta. Al comparar el consumo de K con la aplicación del nutriente en el programa de rutina resulta claro que el programa estaba supliendo niveles que estaban muy por bajo de las necesidades reales del cultivo, dejando excesiva responsabilidad al suelo para nutrir el cultivo. En sistemas de fertirrigación semanal como el usado en este caso, no parece conveniente que prevalezca esta situación, pues si se suplen todos los nutrientes en adecuadas cantidades excepto uno (K en este caso), probablemente este nutriente se vea en desventaja de ser absorbido por la raíz. Al subir a 72 kg ha⁻¹ el nivel de aplicación de K, existe por lo menos la certeza que con una eficiencia de fertilización del 70% se están llenando las necesidades de K de la fruta (50 kg ha⁻¹) (Bertsch, 2005).

Cuadro 17. Cambio de la dosis de Potasio en un programa de fertilización de *C. lunatus* L.

Cambio de la dosis de K, en el programa de fertilización de sandía, variedad Crimson Jewel, en Puntarenas, Costa Rica.		
Ajuste de la fertilización	Consumo de K	Aplicación total
	kg ha ⁻¹	
Antes	89	45
Después	89	72

Fuente: (Bertsch, 2005).

B. Requisitos de cosecha

a. 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).

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).

b. Curvas de absorción de nutrientes

Una curva de absorción es la representación gráfica de la extracción de un nutriente y representa las cantidades de este elemento extraídas por la planta durante su ciclo de

vida. La extracción de nutrientes depende de diferentes factores tanto internos como externos, los más sobresalientes son:

Factores internos:

1. El potencial genético de la planta. Por esta razón es ideal determinar la curva de extracción para cada cultivar.
2. 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.

C. 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 lo programas de manejo de la nutrición de los cultivos (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).

a. Curvas de absorción para determinar épocas de máxima absorción

Cuando se expresan 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 (N) (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 N ha sido siempre un problema para los productores y técnicos porque la dinámica de absorción de N cambia con el cultivar y aún con las variedades e híbridos del mismo cultivar. La curva de absorción de N permite conocer exactamente las épocas de mayor requerimiento y con esta información se puede determinar cuándo y cuánto fraccionar (Bertsch, 2005).

b. 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).

c. 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).

d. 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).

e. 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).

2.1.12 Antecedentes del tema de investigación

Actualmente no existen trabajos relacionados con la absorción de nutrimentos en pepino (*Cucumis sativus* L. híbrido Diomede), en el país por lo que se consultaron bibliografías de trabajos de absorción de nutrimentos en *C. sativus* en otros países y en otros cultivos.

Rodríguez y Vargas (2009), en la Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia, determinaron las curvas de absorción de elementos secundarios (Ca, Mg y S), en el cultivos de *C. sativus*, en donde se concluye que la absorción de estos elementos es notoria en la fase de fructificación, ya que en la fase de germinación, crecimiento y floración el requerimiento es gradualmente progresivo, pero en menor escala que en el período de fructificación. Adicional a lo anterior recomiendan que siendo este un cultivo de ciclo corto es importante que en él se utilice una fertilización con fuentes de rápida asimilación al momento de la siembra y no una escalonada, ya que la planta no tendría el tiempo suficiente para absorber los nutrientes especialmente el calcio que es un elemento poco móvil en el suelo.

Berstch y Ramírez (datos por publicar), 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) 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 jalapeño (*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 2 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* cv. *Crimson Jewel*) 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 consumido un 35% del total a los 40 dds.

2.2 Marco referencial

2.2.1 Ubicación geográfica

La fase de campo se llevó a cabo en un invernadero en los campos del Centro Experimental Docente de Facultad de Agronomía (CEDA), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, situado al sur de la ciudad capital de Guatemala en la zona 12, a; 14°35'11" latitud norte, 90°35'58" longitud oeste (Herrera, 2011).

2.2.2 Clima

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 m sobre el nivel del mar. La zona tiene una precipitación promedio anual de 1,216. mm. Distribuidos en el período de mayo a octubre, registrándose una humedad relativa

promedio de 79% anual, además registra una evapotranspiración potencial entre 1.00 – 0.50 y una biotemperatura media anual de 12 y 18.3 grados centígrados (Herrera, 2011).

2.2.3 Zona de vida

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

2.2.4 Superficie

Los campos del Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA), cubren una superficie de 22.38 ha. (Herrera, 2011).

2.2.5 Suelos

El suelo del área de interés (invernadero), según el mapa de taxonomía de suelos del Centro Experimental Docente de Agronomía –CEDA- (figura 3), se ubica dentro del subgrupo ultic paleustalfs, pertenecientes al orden alfisol cuyas características principales se indican 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. Es preciso destacar que junto a los horizontes anteriormente señalados, también pueden aparecer horizontes kándico, nátrico, cálcico, petrocálcico o álbico, así como un epipedión úmbrico. Los fragipanes son comunes y el pH del suelo suele ser ligeramente ácido, aunque el PSB>50%. La mayoría de los alfisoles tienen un régimen de humedad údico, ústico o xérico, y algunos pueden presentar condiciones acuicas. 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: presentan un régimen de temperatura frígido, méxico o isoméxico. 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).

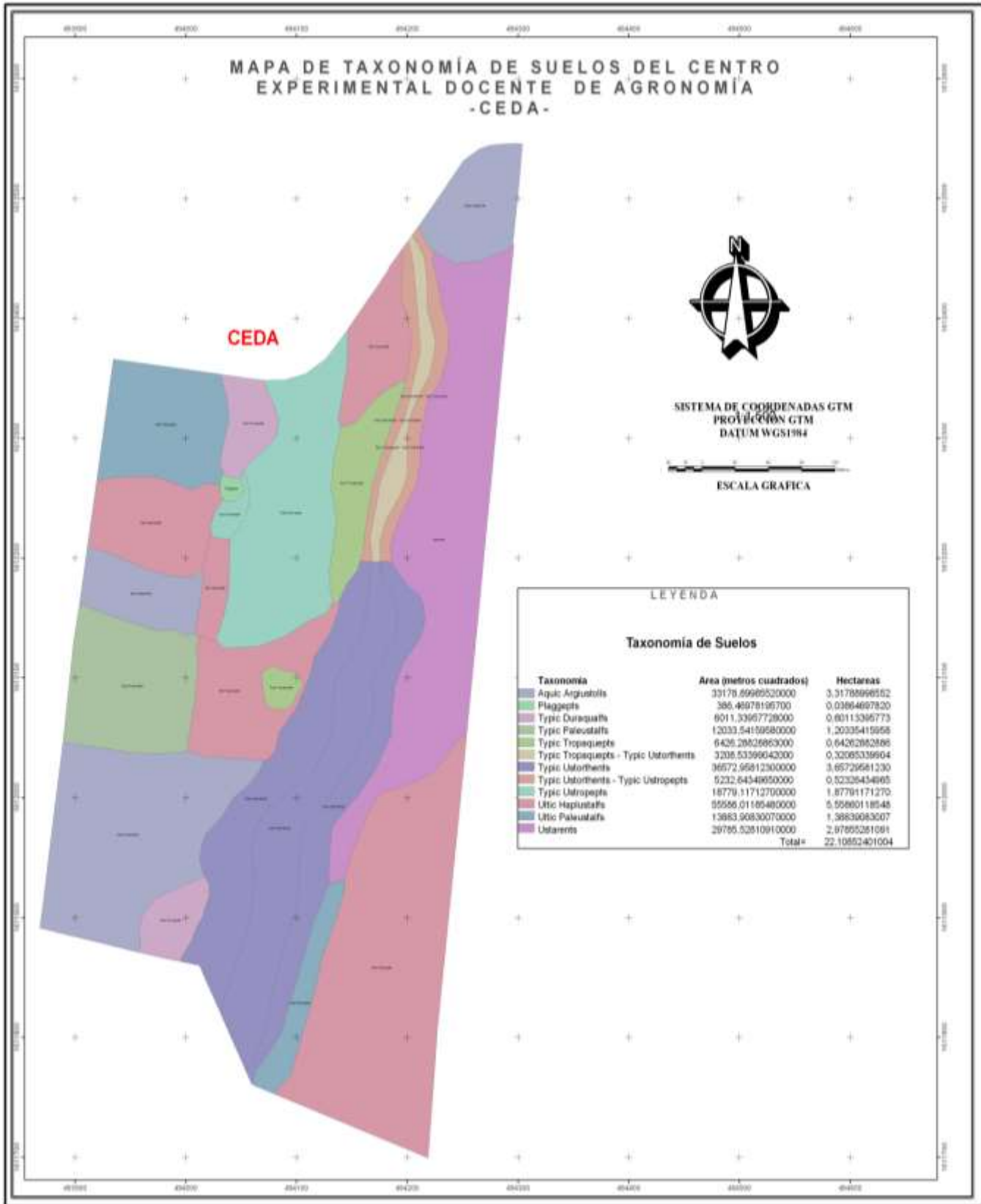


Figura 3. Taxonomía de suelos del CEDA
Fuente: Estudiantes del curso de taxonomía de suelos & USIG-FAUSAC

2.2.6 Características del invernadero

2.2.6.1 Dimensiones del invernadero

El Invernadero en el cual se sembró el híbrido de pepino (*Cucumis sativus* L.), diomede, 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) :

2.2.6.2 Temperatura y humedad

La toma de datos de humedad relativa y temperatura se realizó, haciendo uso de un higrotermómetro situado dentro del invernadero en el cual se sembró el híbrido de pepino (*Cucumis sativus* L.), diomede.

A. Temperatura máxima, mínima y media

La temperatura media registrada durante el día tiene mucha importancia en el cultivo de *C. sativus* L., porque de ella depende en gran parte el buen desarrollo del cultivo dentro del invernadero. El invernadero en el cual se realizó la fase de campo de dicho estudio, 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 16-17°C y la temperatura más alta entre 38-41°C.

B. Humedad máxima, mínima y media

Dentro del invernadero se registró una humedad relativa máxima del 88%. La humedad relativa mínima registrada en la estructura 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 pepino (*Cucumis sativus* L. híbrido diomede), bajo condiciones de invernadero, en el Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA).

3.2 Específicos:

- Elaborar la curva de acumulación de materia seca del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L. híbrido diomede).
- Determinar las curvas de absorción de elementos mayores y menores en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L. híbrido diomede).
- Determinar la demanda de la extracción total de nutrimentos en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L. híbrido diomede).

4 Metodología

El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), híbrido diomede, 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 Híbrido

El material cultivado fue pepino híbrido diomede, el cual es del tipo ginóico para el segmento de campo abierto, aunque también es factible trabajarlo bajo condiciones de ambientes controlados. Planta vigorosa con un fruto atractivo de color verde oscuro, presenta rendimientos de 91 t ha⁻¹ (Syngenta, 2014).

4.2 Características físicas y químicas del suelo

El suelo posee las siguientes características físicas: franco arcillo arenoso con 24.99% de arcilla, 24.82% de limo y 50.89% de arena, tal como se indica en el cuadro 18.

Cuadro 18. Análisis físico del suelo

IDENTIFICACION	%			CLASE TEXTURAL
	Arcilla	Limo	Arena	
M-1	24.99	24.82	50.19	Franco arcillo arenoso

Fuente: Laboratorio de suelos FAUSAC

Taxonómicamente el suelo donde está establecido el invernadero en el cual se cultivó *C. sativus*, pertenece al orden alfisol (Figura 3), con pH moderadamente ácido. Cuya concentración de cobre (1 ppm), fue menor al rango adecuado (2-4 ppm), para este tipo de suelo y con un porcentaje de saturación de bases (1.56%), por debajo del rango adecuado; con una concentración de fósforo alta (44 ppm), la concentración de potasio es superior al nivel adecuado (1.56 meq/100 g), el 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). Un suelo con fertilidad potencialmente alta, tal como se puede observar en el cuadro 19.

Cuadro 19. 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

Las concentraciones de Zn (11.5 ppm), Fe (11 ppm) y Mn (122.5 ppm), se encuentran dentro del rango adecuado (cuadro 19), pese a ello la solución nutritiva no fue elaborada en base a dichas características fisicoquímicas del suelo; 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.

Lo citado anteriormente es debido a que 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 (Bertsch, 2005).

4.3 Parcela

El híbrido fue sembrado 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, distribuidas en los cuatro surcos; como se observa en la figura 4.

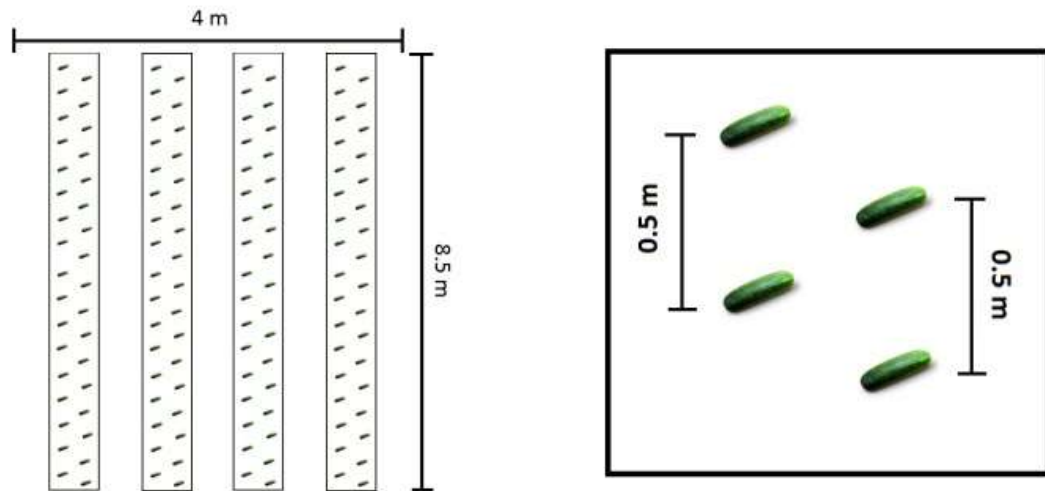


Figura 4. Parcela experimental

Es importante resaltar que no se consideraron las primeras ni las últimas dos plantas de cada surco. De tal manera que la parcela neta de estudio fue de 7.5 metros cuadrados. Cuya densidad proyectada fue de 40,000 plantas por hectarea.

4.4 Muestreo de material vegetal

El muestreo inicio con los pilones, luego se realizó a los 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, y 120 días después de su trasplante en campo. Los muestreos se realizaron cada quince días. Durante cada muestreo se seleccionaron al azar tres plantas vigorosas, libres de daños por plagas y enfermedades; a cada una de ellas se le analizó raíz, tallo, hojas, zarcillos, flores y frutos. Para todo el ciclo del cultivo se realizaron nueve muestreos, tal como se indica en el cuadro 20.

Cuadro 20. Muestreo por etapa fenológica

No. de muestreo	Etapa fenológica	Días después del trasplante	No. de plantas
1	Plántula	0	15 pilones
2	Desarrollo vegetativo	15	3 plantas

Continuación cuadro 20

No. de muestreo	Etapas fenológicas	Días después del trasplante	No. de plantas
3		30	3 plantas
4	Floración	45	3 plantas
5	Fructificación	60	3 plantas
6		75	3 plantas
7		90	3 plantas
8		105	3 plantas
9		120	3 plantas

Cada muestra extraída, se analizó en el laboratorio de suelo-planta-agua “Salvador Castillo Orellana” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.5 Manejo del estudio

4.5.1 Preparación del terreno

Se realizó la eliminación de malezas y rastrojos del cultivo anterior, posteriormente se llevó a cabo con piocha y azadón el picado y volteo del suelo para dar brindar una mejor aireación y optimizar la retención de humedad del suelo. En el invernadero se detectó la presencia de gallina ciega (*Phyllophaga* spp.), por lo cual se procedió a su extracción manual así mismo se aplicó S-[[1,1-dimetil etil] tio] metil] 0,0-dietil fosforoditioato (terbufos).

Durante el trasplante se sumergieron los pilones en una solución de *Bacillus subtilis*, conocido como subsol 0,08 sc (fungicida biológico), para hongos del suelo y *Beauveria bassiana* (teraboveria 0,5 l), para gallina ciega, en la dosis recomendada según la tolerancia del cultivo.

4.5.2 Siembra

La siembra se realizó en camellones con cobertura plástica, el distanciamiento de siembra utilizado fue de 1 m entre camas. Las plantas se colocaron distanciadas a 0.5 metros

sembradas entre ellas, al tresbolillo. La densidad de siembra fue de 136 plantas en la parcela bajo estudio.

4.5.3 Tutorado

Dicha actividad se llevó a cabo 10 días después trasplante de *C. sativus* L.; la cual se realizó con rafia debidamente desinfectada en una solución de cloro a concentración del 5%. Dicha labor siguió realizándose cada semana.

4.5.4 Podas y deshije

La planta se trabajó únicamente a un eje y el deshije se llevó a cabo semanalmente. Dicha actividad se realizó con tijeras las cuales fueron debidamente desinfectadas con cloro al 5%, entre planta y planta. Es importante indicar que no se eliminó el brote apical a las plantas por lo cual la planta continuo su crecimiento sin limitación.

4.5.5 Control de malezas

Para evitar el aparecimiento de malezas en los camellones se utilizó cobertura plástica; entre los mismos y sus alrededores la limpieza de malezas se realizó con machete y azadón.

4.5.6 Control de plagas y enfermedades

Se colocaron trampas amarillas, azules y blancas con pegamento (stikem special), así como cortinas para evitar la entrada de insectos al invernadero; el control de plagas así como de enfermedades se realizó con los productos biológicos que se mencionan a continuación:

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

4.5.7 Fertirriego

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 solución nutritiva se formuló sin considerar las características fisicoquímicas del suelo; ya que el propósito fue

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 citado anteriormente se justifica debido a que 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 (Bertsch, 2005).

La solución nutritiva aplicada fue elaborada con los siguientes elementos en sus respectivas concentraciones, como se indica en el cuadro 21.

Cuadro 21. Concentraciones de los elementos en la solución nutritiva

Nutriente	Cantidad (ppm)	kg ha⁻¹
Nitrógeno	180	305
Fósforo	80	136
Potasio	300	508
Calcio	120	203
Magnesio	50	85
Azufre	80	136
Hierro	10	17
Cobre	5	8
Zinc	15	25
Manganeso	3	5
Boro	5	8
Molibdeno	2	3

Fuente: Dr. Iván Santos

La solución nutritiva se almacenó en un tanque Rotoplast de color negro para evitar la inactivación de los elementos, con una capacidad de 2050 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 30 hasta los 120 días después del trasplante. En total se realizaron catorce cortes, obteniéndose en promedio 19 frutos por planta.

4.5.9 Variables para la describir la dinámica nutrimental

Las variables utilizadas para describir la dinámica nutrimental del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo estudio, fueron las que se citan a continuación:

4.5.9.1 Biomasa (materia fresca y materia seca)

La biomasa fue necesaria para construir las curvas respectivas; expresadas en kilogramos por hectárea (kg ha^{-1}).

A. Materia fresca

La materia fresca de las plantas se determinó con una balanza analítica, después de ser extraídas del campo para evitar pérdidas de agua.

B. Materia seca

El método para cuantificar la materia seca, es el método de diferencia de pesos. La materia seca se cuantificó en un horno de convección forzada, a una temperatura de entre 65°-70° Celsius.

4.5.9.2 Determinación y cuantificación de nutrientes

Para cuantificar de cada uno de los elementos se realizó en el laboratorio de suelo-planta-agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tal como se indica, en el cuadro 22.

Cuadro 22. Métodos de determinación para la cuantificación de elementos

Elemento	Método de determinación
Fósforo (P)	Colorimetría
Calcio (Ca)	Absorción atómica
Magnesio (Mg)	

Continuación cuadro 22

Elemento	Método de determinación
Sodio (Na)	Absorción atómica
Cobre (Cu)	
Zinc (Zn)	
Hierro (Fe)	
Manganeso (Mn)	
Nitrógeno (N)	Kjhielhal semi-micro

Fuente: Laboratorio de suelos FAUSAC

La información fue utilizada para la elaboración de las gráficas que involucran el peso seco de raíz, tallo, hojas, zarcillos, flores y fruto, con la concentración de cada nutrimento de acuerdo a cada etapa fenológica del cultivo lo cual se conoce como curvas de absorción de nutrientes.

5 Resultados y discusión

5.1 Biomasa

5.1.1 Materia Fresca

De acuerdo con el cuadro 23, se observa la evolución que presentó la biomasa durante el ciclo de muestreo del cultivo de pepino híbrido Diomede, en donde se presenta el total de materia fresca acumulada por la planta que asciende a la cantidad de 5.71 kilogramos hasta los 120 días después del trasplante, mientras que el total de la materia seca fue de 374.88 gramos, la mayor ganancia neta de materia fresca ocurre a los 60 días después del trasplante con 1.01 kilogramos, que coincide con la etapa de mayor acumulación de materia seca con 62.97 gramos.

Cuadro 23. Acumulación de materia seca y fresca por planta durante el ciclo de cultivo de pepino híbrido diomede

Días después del trasplante	Peso fresco por planta (g)	Peso seco por planta (g)
0	0.43	0.07
15	18.29	2.19
30	947.00	56.00
45	1736.97	112.58
60	2751.90	175.55
75	3681.05	232.84
90	4330.73	281.86
105	5174.10	329.25
120	5710.37	374.88

En el cuadro 24, se observa la acumulación de materia seca por órgano y por etapa durante el ciclo de muestreo del cultivo de pepino híbrido Diomede, el cual duró 120 días, en donde se aprecia que el órgano con el mayor aporte de materia seca fue el fruto con el 49 %, seguido de las hojas con el 40 %, los tallos aportaron cerca del 7% de materia seca, las flores contribuyeron con más del 3%, mientras que la raíz y los zarcillos aportaron entre ambos cerca del 1% de la materia seca total.

Cuadro 24. Peso seco por órgano durante el ciclo de cultivo de pepino híbrido diomede

Días después de siembra	Peso seco en gramos (g)						
	Hojas	Tallo	Raíz	flores	Zarcillos	frutos	Total acumulado
0	0.02	0.02	0.03				0.07
15	1.12	0.90	0.17				2.19
30	12.19	11.24	0.25	2.77	0.75	28.80	56.00
45	28.60	18.68	0.33	6.49	0.88	57.60	112.58
60	49.05	22.02	0.95	6.57	0.96	96.00	175.55
75	74.70	23.12	1.00	8.10	1.12	124.80	232.84
90	101.05	23.53	1.03	10.90	1.35	144.00	281.86
105	117.23	24.54	1.05	12.15	1.48	172.80	329.25
120	150.53	26.60	1.09	12.64	1.62	182.40	374.88

En la figura 5, se observa el comportamiento de la acumulación de materia seca en el tiempo, donde se aprecia que los principales órganos que aportan más del 88% de la materia seca son los frutos y las hojas. Debido a que el ritmo de crecimiento en el cultivo de pepino es altamente acelerado, se considera que la etapa vegetativa da inicio desde el momento del trasplante y debido a que el pepino es un cultivo de crecimiento indeterminado, siempre se encontrará en su etapa vegetativa, con fines de análisis, se considera que esta etapa culmina a los 15 días después del trasplante, momento en el cual da inicio la etapa de floración, a partir de los 30 días después del trasplante ya se aprecian los primeros frutos, pero se acentúa la producción de los mismos a partir de los 46 días después del trasplante, en donde da inicio la etapa de fructificación y cosecha. La delimitación de las etapas se realizó en base a la curva de acumulación de materia seca en donde se observa que durante los primeros quince días después del trasplante (etapa vegetativa), la planta alcanzaba un acumulado de 2.19 gramos que representa menos del 1% de la materia seca total, es durante esta etapa que la ganancia neta de materia seca avanza a un ritmo lento, acumulando 0.14 gramos de materia seca por día.

Durante la etapa de floración, se observa un ritmo acelerado en la acumulación de materia seca, pues entre el día 16 y 45 después del trasplante, el cultivo alcanzó el 29.5% de la materia seca total, durante la etapa de fructificación la cual inicia a los 46 días después del trasplante, se observa la mayor ganancia neta de materia seca, la cual fue de 4.2 gramos

por día y se mantuvo hasta los 60 días después del trasplante, así también, se observó que la ganancia neta de materia seca, luego de este punto, comenzó a descender. En esta etapa, el cultivo acumulo el 70% de la materia seca total.

En la figura 5, no se alcanzó a percibir la etapa de senectud particular de un cultivo anual, esto debido a que el cultivo de pepino híbrido Diomede tiene un crecimiento semi-indeterminado, y el crecimiento del mismo es comúnmente finalizado con una poda del meristemo apical del tallo, según lo observado durante el estudio, el potencial productivo de este cultivo es alto y pudo extenderse más allá de los 120 días después del trasplante.

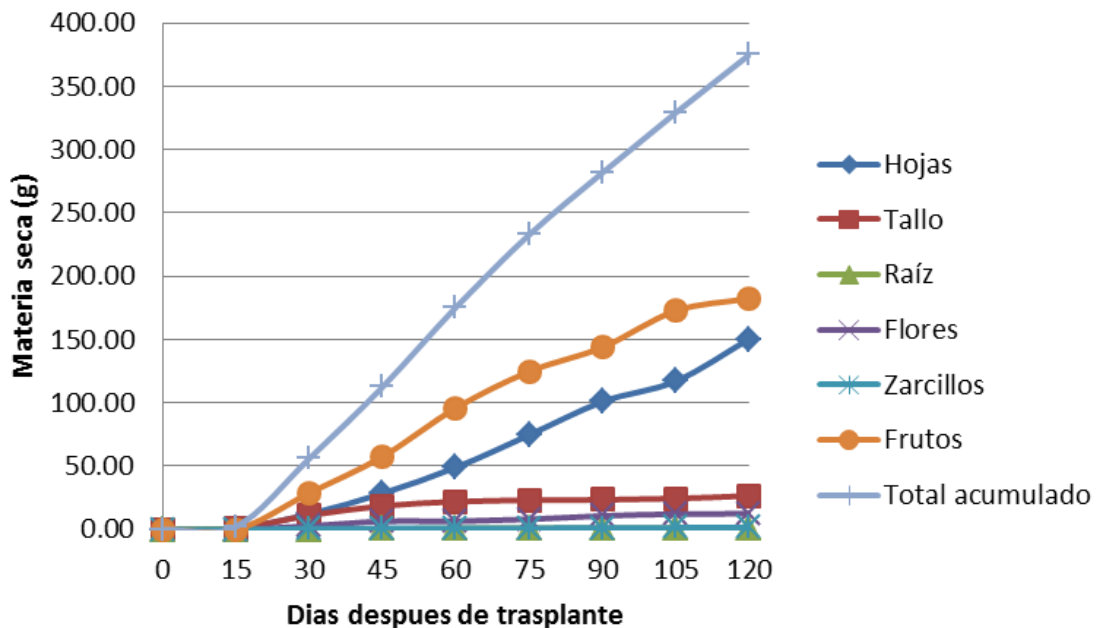


Figura 5. Curva de acumulación de materia seca en el ciclo de cultivo de pepino híbrido diomede

5.2 Absorción de macroelementos primarios (N, P, K)

5.2.1 Nitrógeno

El nitrógeno es necesario para la síntesis de la clorofila y, como parte de la molécula de clorofila, tiene un papel en el proceso de fotosíntesis. Forma parte de componentes derivados de azúcares, celulosa, almidón y lípidos. Alarga las fases del ciclo del cultivo; es

responsable de la madurez adecuada en las plantas, favorece la multiplicación celular y estimula el crecimiento de la planta. Favorece el crecimiento foliar. El adecuado suministro de nitrógeno (N) y por lo tanto producción de clorofila junto a la luz del sol como fuente de energía es indispensable para llevar a cabo funciones esenciales como la absorción de nutrientes (Imexcor, 2011).

La acumulación de nitrógeno en los órganos fue mayor en hojas y frutos, pues estos contribuyeron con el 91% del nitrógeno total absorbido, siendo los frutos el órgano más demandante en nitrógeno. La distribución del nitrógeno en el tiempo se observa en la figura 6, en donde se aprecia que durante la etapa vegetativa (hasta los 15 días después del trasplante), el cultivo había absorbido menos del 1% del nitrógeno total, en la etapa de floración (de 16 a 45 días después del trasplante), el cultivo absorbió cerca del 21% del nitrógeno total, mientras que en la etapa de fructificación y cosecha por ser la más extensa en el ciclo de cultivo (46 a 120 días después del trasplante), el cultivo requirió del 79% del nitrógeno, la absorción de nitrógeno alcanzó su máximo valor a los 105 días después del trasplante con 399 kilogramos por hectárea.

La concentración de nitrógeno a los 75 días después del trasplante se encuentra por debajo en 0.02% con respecto a los rangos de suficiencia reportados por Harry A. Mills (3.5 – 6%), debido a que la deficiencia es mínima, no se considera como un factor limitante para la producción. La absorción de nitrógeno por tonelada de fruto fue de 2.4 kilogramos, la cual se encuentra por debajo del valor reportado por Ciampitti & García (2015) de 4 kilogramos de nitrógeno por tonelada de fruto.

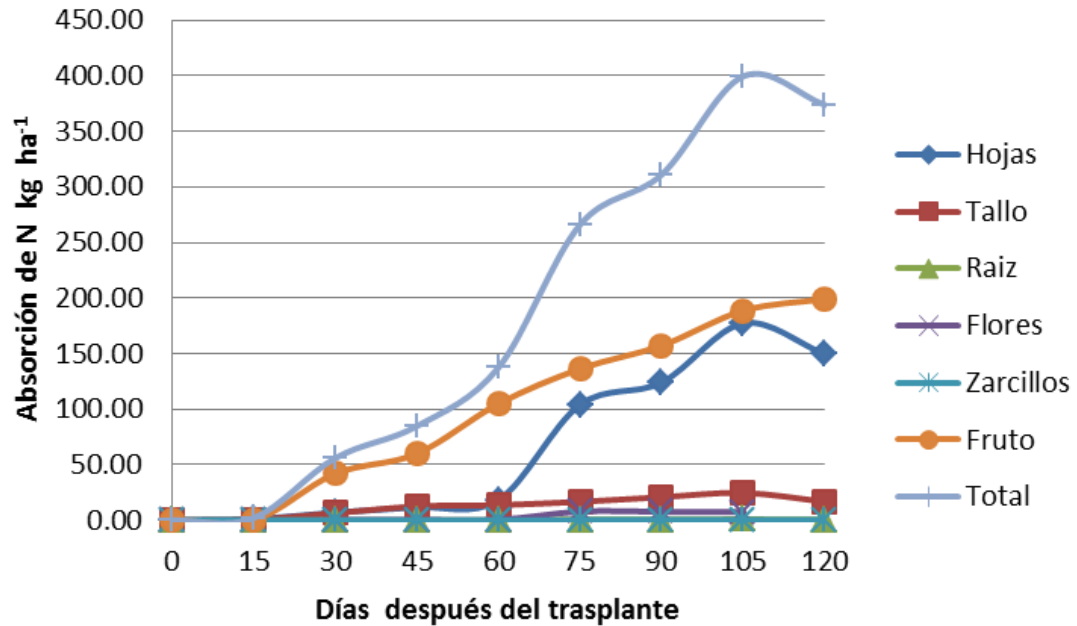


Figura 6. Curva de absorción de nitrógeno en el cultivo de pepino diomede

5.2.2 Fosforo

El fósforo forma parte de moléculas de carácter energético como puede ser el ATP o el NADPH, lo cual hace que aporte energía a la planta. Realiza una función clave en la fotosíntesis, la respiración celular y todo el metabolismo energético. Tiene una función metabólica, en la regulación de la síntesis y transporte de hidratos de carbono. Favorece el desarrollo de las raíces al comienzo de la vegetación. Aumenta la presencia de almidón, azúcares y féculas, dando frutos y semillas de mejor calidad. El fósforo se comporta como elemento muy móvil que se distribuye fácilmente por toda la planta (Imexcor, 2011).

Como se aprecia en la figura 7, al igual que en el nitrógeno, las hojas y los frutos constituyen los principales órganos demandantes de fósforo con el 89% de la absorción total, siendo los frutos quienes aportan cerca del 49% de la absorción. En la etapa vegetativa (hasta los 15 días después del trasplante), el cultivo de pepino absorbió menos del 1% del fósforo total, durante los 30 días siguientes, en la etapa de floración (16 a 45 días después del trasplante), el cultivo absorbió cerca del 21% del fósforo total, mientras

que la etapa de fructificación y cosecha fue la etapa con la principal demanda de fósforo con el 78% de la absorción total.

La concentración de fósforo a los 75 días después del trasplante fue del 0.59%, valor que se encuentra dentro del rango de suficiencia reportado por Harry A. Mills (0.25 – 1.25%), por lo que no se considera al fósforo como un factor limitante para la producción. La absorción de fósforo por tonelada de fruto fue de 0.45, el cual se encuentra es menor al reportado por Ciampitti & García (2015) de 0.6 kg tn⁻¹, el cultivo alcanzó su máxima absorción acumulada a los 105 días después del trasplante con 75.30 kilogramos de fósforo por hectárea.

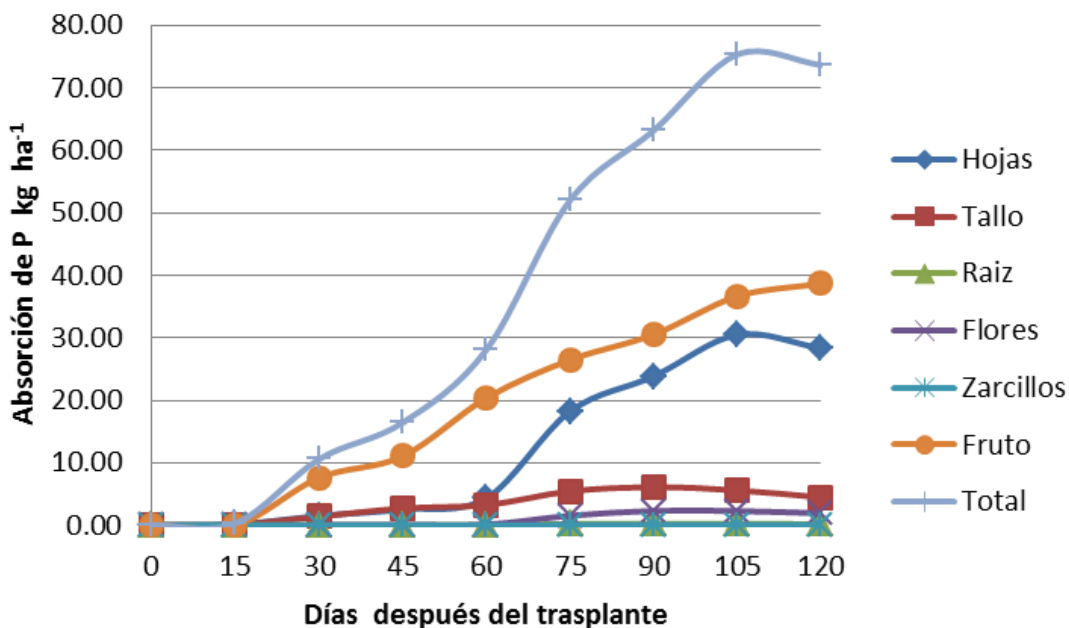


Figura 7. Curva de absorción de fósforo en el cultivo de pepino híbrido diomede

5.2.3 Potasio

La principal función del potasio es la de osmorregulador e interviene en la apertura y cierre estomático. El potasio también actúa como activador enzimático. El potasio interviene en distintos procesos metabólicos fundamentales como la respiración, la fotosíntesis, y la síntesis de clorofilas. Estimula la formación de flores y frutos. Aumenta la eficiencia del

nitrógeno. Aumenta el peso de los granos y frutos, haciendo a éstos más azucarados y de mejor conservación (Imexcor, 2011).

Más del 51% del potasio absorbido por el cultivo de pepino híbrido diomede, fue utilizado por los frutos, el 31% del potasio fue absorbido por las hojas, mientras que el 12% fue empleado por los tallos, las flores por su parte absorbieron el 5% del potasio total, tanto raíz como zarcillos utilizaron menos del 1% del potasio total. A los 105 días después del trasplante se percibió el máximo valor acumulado de la absorción de potasio el cual fue de 442.9 kilogramos por hectárea (figura 8). Durante la etapa vegetativa (hasta 15 días después del trasplante), el cultivo utilizó menos del 1% de potasio, en la etapa de floración (de 16 a 45 días después del trasplante), se empleó el 26% del potasio total, mientras que durante la etapa de fructificación y cosecha (46 a 120 días después del trasplante), se absorbió más del 73% del potasio total. La concentración de fósforo a los 75 días después del trasplante fue del 3 %, valor que se encuentra por debajo del reportado por Harry A. Mills (3.5 – 5.5%). La absorción de potasio por tonelada de fruto fue de 2.65 kg t⁻¹, valor que es superior al reportado por Paz (2004) el cual es de 2.5 kg t⁻¹.

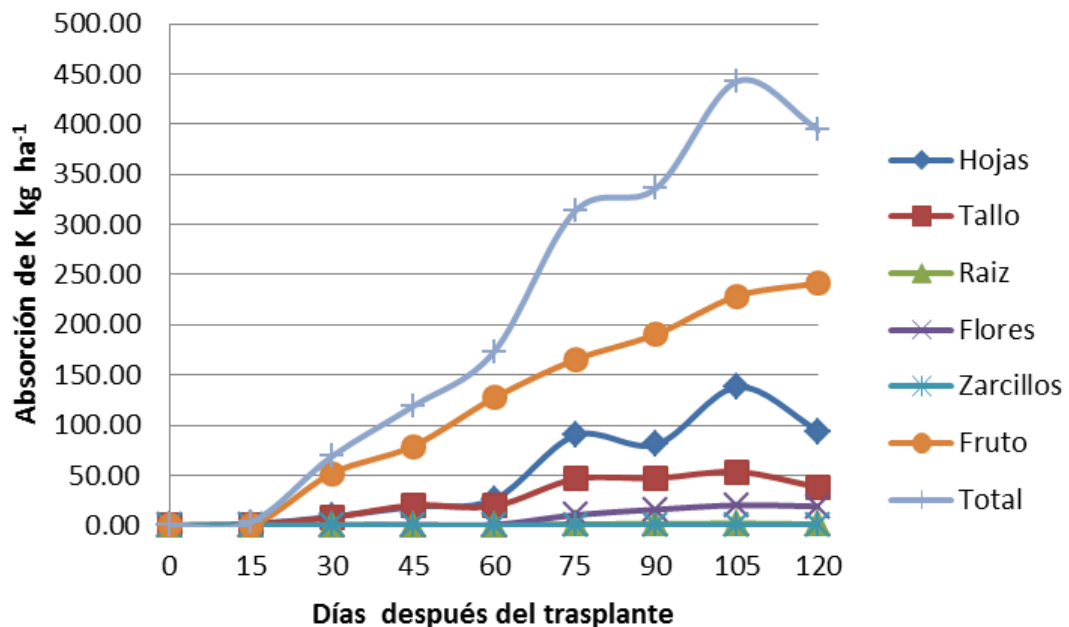


Figura 8. Curva de absorción de potasio en el cultivo de pepino híbrido diomede

Se aprecia que al comparar las curvas de absorción de los macroelementos primarios, conservan el mismo patrón en donde los órganos que aportaron las mayores absorciones fueron los frutos y las hojas, de igual manera, al contrastar los valores de absorción con los niveles de suficiencia establecidos por Harry A. Mills, ninguno de los macroelementos primarios (N, P, K) fueron un factor que limitara el buen desarrollo del cultivo de pepino híbrido diomede.

5.3 Absorción de macroelementos secundarios (Ca y Mg)

5.3.1 Calcio

La mayor parte del calcio que se absorbe se localiza extracelularmente en la pared celular (en los pectatos), y en las membranas. Forma parte de la estructura de la lámina media de la pared celular. Aumenta la resistencia mecánica de los frutos. Estimula el desarrollo de hojas y raíces (Imexcor, 2011).

Se puede apreciar en la figura 9, que las hojas fueron el órgano más demandante de calcio, absorbiendo el 79% de calcio, el cultivo absorbió un total de 364 kilogramos de calcio por hectárea, los cuales se distribuyeron en menos del 1% en la etapa vegetativa (hasta los 15 días después del trasplante), el 5% durante la etapa de floración (de 16 a 45 días después del trasplante), durante la etapa de fructificación y cosecha (46 a 120 días después del trasplante), fue el periodo de mayor demanda del calcio pues se utilizó cerca del 96% del total absorbido.

La concentración de calcio a los 75 días después del trasplante alcanzo un valor de 4.31%, el cual se encuentra dentro del rango de suficiencia reportado por Harry A. Mills (1.5 – 5.5 %), por lo cual no se consideró al calcio como un elemento limitante del desarrollo del cultivo. Al finalizar el ciclo, el cultivo de pepino se determinó una absorción de calcio de 2.2 kilogramos por tonelada de fruto, valor que es inferior al reportado por Ciampitti & García (2015), de 5.3 kilogramos de calcio por tonelada de fruto.

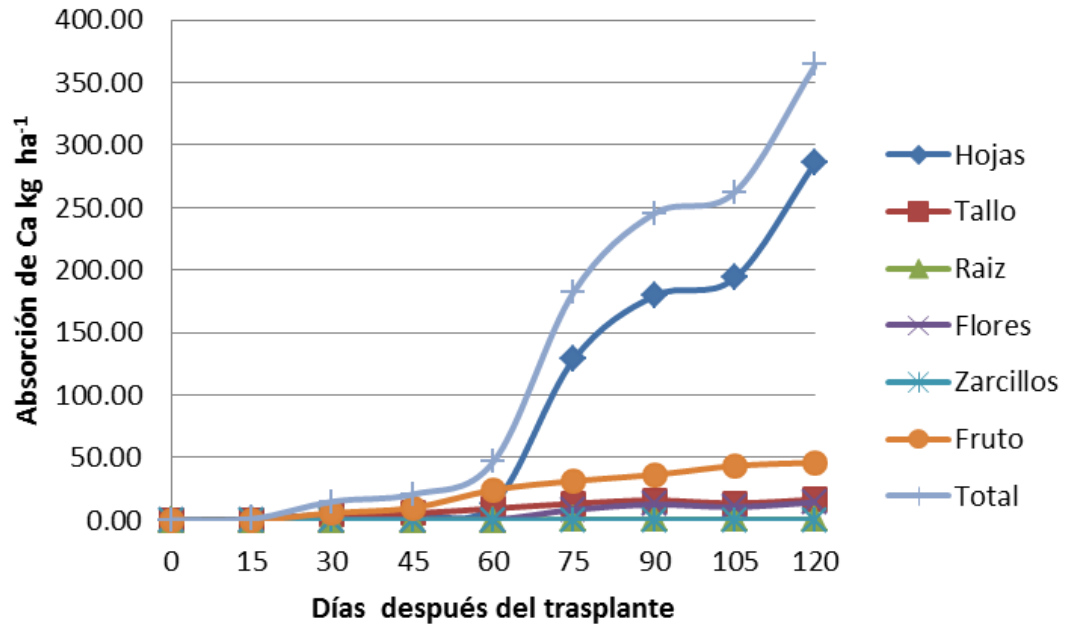


Figura 9. Curva de absorción de calcio en el cultivo de pepino híbrido diomedea

5.3.2 Magnesio

Forma parte de la molécula de clorofila, actúa como activador enzimático. También interviene en el metabolismo energético de la planta. Interviene en la formación de los frutos y órganos de reserva (Imexcor, 2011).

En la figura 10, se puede apreciar que los órganos que requirieron el 89% del magnesio, fueron las hojas y los frutos, debido a que el magnesio participa directamente en la molécula de clorofila, y dado el alto volumen de follaje, en las hojas se requirió del 57% del magnesio total. El magnesio es absorbido en menores cantidades que el calcio y que los macroelementos primarios, y bajo las condiciones del estudio, la planta absorbió un total de 71.44 kilogramos de magnesio por hectárea, utilizándose menos del 1% durante la etapa vegetativa (hasta los 15 días después del trasplante), en la etapa de floración (de 16 a 45 días después del trasplante), el cultivo utilizó cerca del 12% del magnesio absorbido, mientras que la etapa con la más alta demanda de magnesio de dio durante la fructificación y cosecha, absorbiéndose el 88% del total.

La concentración de magnesio a los 75 días después del trasplante alcanzo un valor de 0.65 %, el cual se encuentra dentro del rango de suficiencia reportado por Harry A. Mills (0.30 – 1.00 %). La absorción de magnesio por tonelada de fruto fue de 0.43 kg t⁻¹, valor inferior al reportado por Ciampitti & García (2015), el cual es de 1.1 kg t⁻¹.

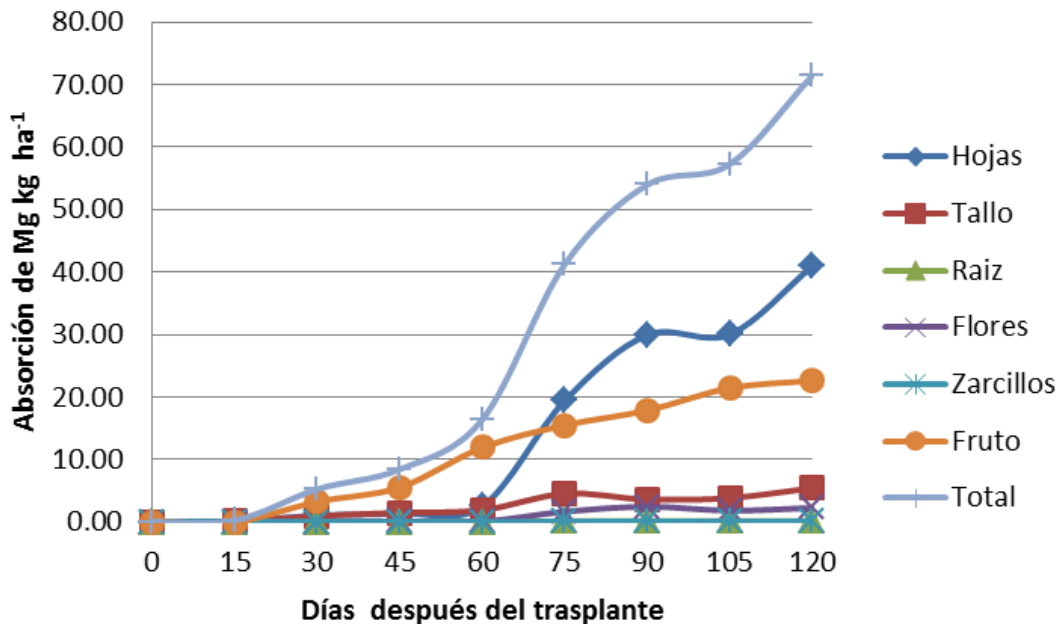


Figura 10. Curva de absorción de magnesio en el cultivo de pepino híbrido diomede

5.4 Absorción de microelementos (Cu, Zn, Fe y Mn)

5.4.1 Cobre

Está involucrado en la formación de la pared celular, es integrante de enzimas como fenolasa u oxidasa del ácido ascórbico. Interviene en la fotosíntesis y en el metabolismo nitrogenado y glucídico. Es un micronutriente esencial en el balance de bioelementos que en la planta regulan la transpiración (Imexcor, 2011).

En la figura 11, se observa que durante la fase vegetativa (hasta los 15 días después del trasplante), el cultivo absorbió menos del 1% de cobre total; durante la etapa de floración, (de los 16 a 45 días después del trasplante), el cultivo alcanzó un valor del 19% del cobre absorbido, mientras que durante la época de fructificación (76 a 120 días después del

trasplante), la absorción de cobre fue del 80%. El órgano con mayor demanda de cobre fueron las hojas con el 50%, seguido por los frutos que absorbieron el 41% del cobre total.

La concentración de cobre en las hojas a los 75 días después del trasplante fue de 5 mg kg^{-1} , la cual se encuentra dentro del rango de suficiencia reportado por Harry A. Mills, el cual es de $5 - 20 \text{ mg kg}^{-1}$. El cultivo alcanzó una absorción total de 178.57 gramos de cobre por hectárea.

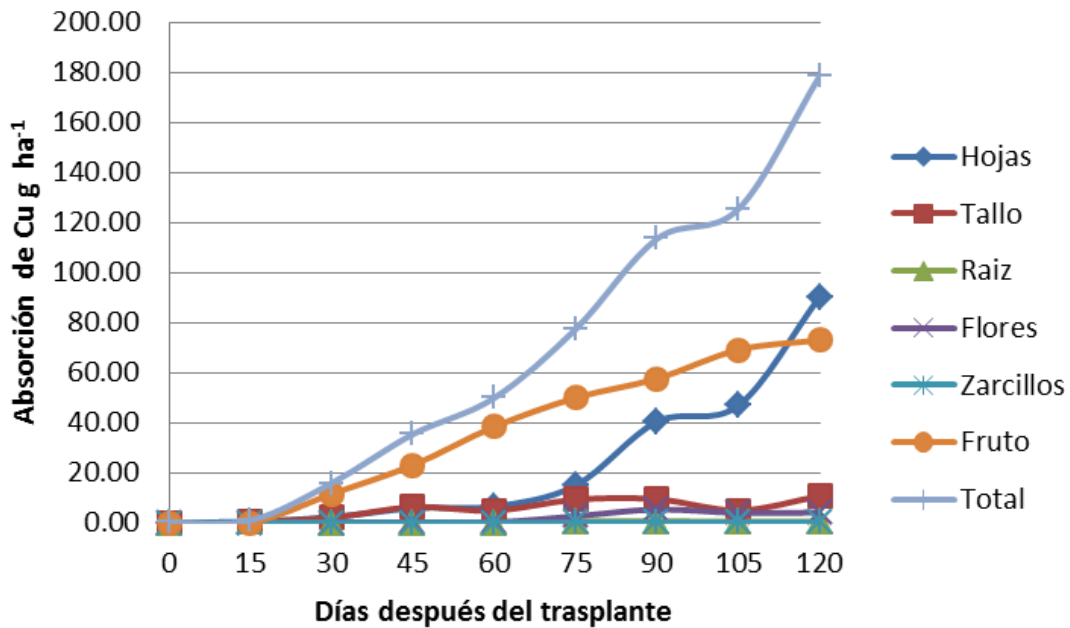


Figura 11. Curva de absorción de cobre en el cultivo de pepino híbrido diomede

5.4.2 Zinc

La movilidad del Zn dentro de la planta es muy pequeña, de forma que se encuentra concentrado en gran parte en la raíz, mientras que en los frutos su contenido es siempre bajo, es un estabilizador de la molécula de clorofila. Participa en los procesos de respiración y fermentación; también interviene en la síntesis y conservación de auxinas, hormonas vegetales involucradas en el crecimiento, así como en la síntesis de proteínas (Imexcor, 2011).

Como se observa en la figura 12, durante la época vegetativa (hasta los 15 días después del trasplante), la absorción de zinc fue menor al 1%, el 16% de zinc fue absorbido en la época de floración (de 16 a 45 días después del trasplante) mientras que el 83% de zinc fue absorbido durante la época de fructificación (46 a 120 días después del trasplante). El 89% del zinc fue utilizado en hojas y frutos, a los 105 días después del trasplante se observó el máximo valor acumulado de absorción de zinc con 630.73 gramos por hectárea.

La concentración de zinc en las hojas a los 75 días después del trasplante fue de 50 mg kg⁻¹, la cual se encuentra dentro del rango de suficiencia reportado por Harry A. Mills, el cual es de 25 – 300 mg kg⁻¹.

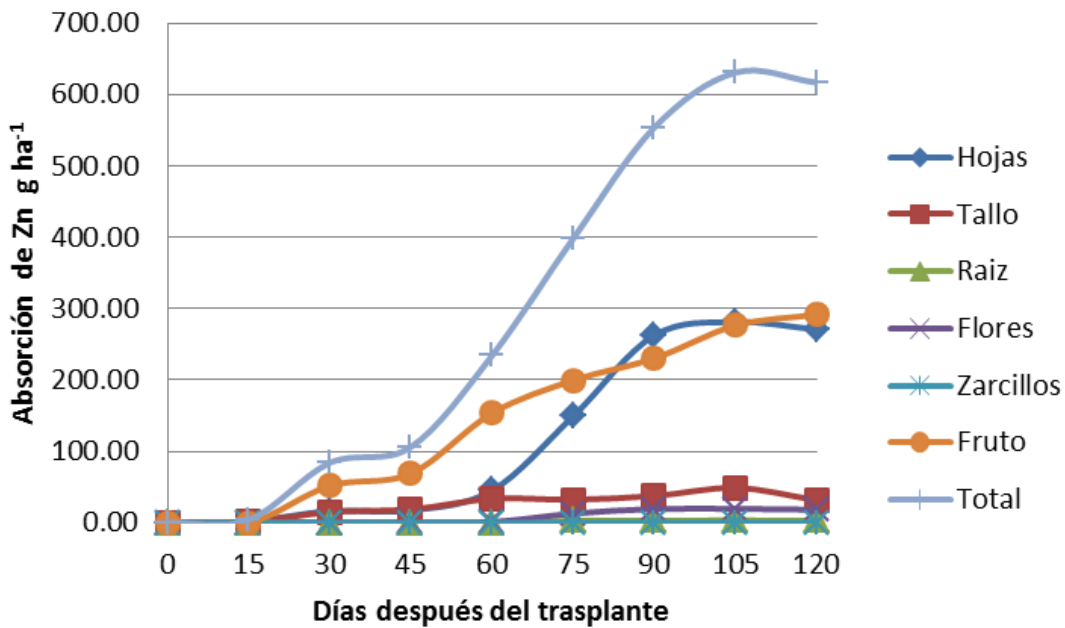


Figura 12. Curva de absorción de zinc en el cultivo de pepino híbrido Diomede

5.4.3 Hierro

La principal función del hierro es la activación de enzimas. El hierro es un constituyente de varias enzimas y algunos pigmentos; ayuda a reducir los nitratos y sulfatos y a la

producción de energía dentro de la planta. Aunque el hierro no se usa en la síntesis de la clorofila, es esencial para su formación (Imexcor, 2011).

El comportamiento de la absorción del hierro se aprecia en la figura 13, donde durante la época vegetativa (hasta los 15 días después del trasplante), el cultivo absorbió cerca del 1% de hierro; en la época de floración (de los 16 a 45 días después del trasplante), el cultivo absorbió el 14% del hierro mientras que el 85% de hierro restante fue absorbido en la época de fructificación (de 46 a 120 días después del trasplante). El 71% del hierro fue utilizado en las hojas, a los 105 días después del trasplante se observó el máximo valor acumulado de absorción de hierro con 2130.35 gramos por hectárea.

La concentración de hierro en las hojas, a los 75 días después del trasplante fue de 170 mg kg^{-1} , la cual se encuentra dentro del rango de suficiencia reportado por Harry A. Mills, el cual es de $50 - 300 \text{ mg kg}^{-1}$.

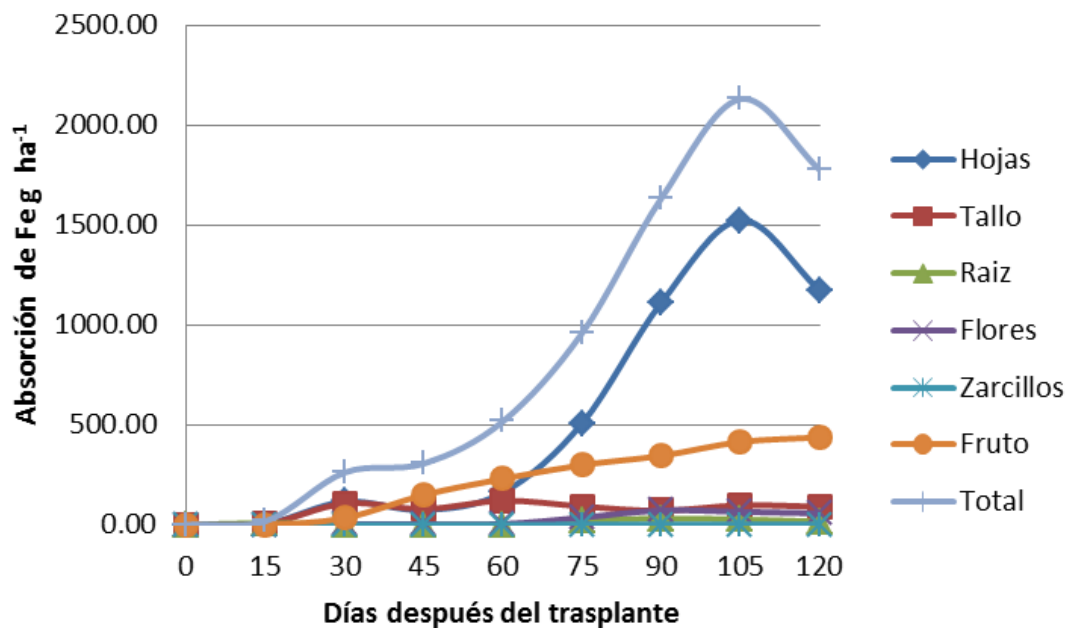


Figura 13. Curva de concentración de hierro en el cultivo de pepino híbrido diomede

5.4.4 Manganeso

El manganeso es un activo participante de la fotosíntesis ya que es el principal responsable de la producción de oxígeno y fotólisis del H_2O . Otra de sus funciones es participar en la metabolización de los ácidos grasos. Quizá la más importante que se conoce a este micronutriente es la de transportar los electrones en el proceso de fotosíntesis (Imexcor, 2011).

El comportamiento de la absorción del manganeso se aprecia en la figura 14, donde durante la época vegetativa (hasta los 15 días después del trasplante), el cultivo absorbió cerca del 1% de manganeso; en la época de floración (de los 16 a 45 días después del trasplante), el cultivo absorbió el 5% del manganeso mientras que el 94% de manganeso restante fue absorbido en la época de fructificación (de 46 a 120 días después del trasplante). El 81% del manganeso fue utilizado en las hojas, a los 105 días después del trasplante se observó el máximo valor acumulado de absorción de hierro con 404.67 gramos por hectárea. La concentración de manganeso en las hojas, a los 75 días después del trasplante, fue de 40 mg kg^{-1} , la cual se encuentra por debajo del rango de suficiencia reportado por Harry A. Mills, el cual es de $25 - 400 \text{ mg kg}^{-1}$.

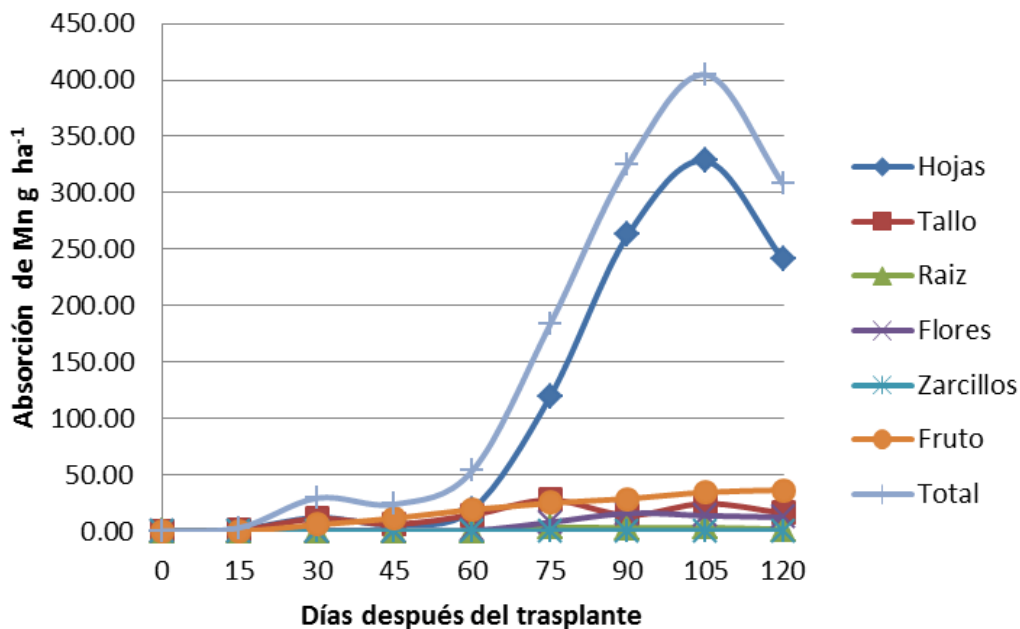


Figura 14. Curva de absorción de manganeso en el cultivo de pepino híbrido diomede

5.5 7.4. Extracción total de nutrientes

En el cuadro 25, se observa la cantidad total de nutrientes absorbidas por el cultivo de pepino, siendo el potasio el macroelemento que presenta la mayor absorción con 442.90 kg ha⁻¹, seguido del nitrógeno con 399.58 kg ha⁻¹, el total de calcio absorbido fue de 363.94 kg ha⁻¹, el fósforo alcanzo un nivel de absorción total de 75.30 kg ha⁻¹ y el magnesio absorbió 71.44 kilogramos por hectárea.

De los microelementos, el hierro fue quien alcanzo el mayor nivel de absorción con 2130.35 g ha⁻¹, seguido del zinc con 630.73 g ha⁻¹, manganeso con 404.67 g ha⁻¹ y el cobre con 178.57 g ha⁻¹.

Cuadro 25. Absorción total de nutrientes para todo el ciclo del cultivo

DDT	kg ha ⁻¹					g ha ⁻¹			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
0	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	0.09	0.24	0.06
15	1.91	0.30	2.93	1.09	0.24	0.88	4.05	18.20	3.10
30	55.84	10.57	68.76	14.91	5.24	15.81	84.04	262.14	29.38
45	84.63	16.42	118.67	20.70	8.41	35.40	106.21	306.35	23.88
60	137.30	28.06	173.15	46.52	16.39	49.91	234.18	518.19	53.74
75	265.99	51.98	313.45	182.67	41.24	77.42	398.20	959.49	183.55
90	311.12	63.16	336.45	245.24	53.96	113.50	553.86	1633.14	324.89
105	399.58	75.30	442.90	262.33	57.25	125.39	630.73	2130.35	404.67
120	373.64	73.62	394.12	363.94	71.44	178.57	616.75	1777.31	307.69

En la figura 15, se aprecia el comportamiento de la absorción de nutrientes en el tiempo, siendo la etapa vegetativa (hasta los 15 días después del trasplante), la etapa que presenta los menores porcentajes de absorción, pues todos los elementos bajo estudio presentaron menos del 1% de la absorción total. Durante la etapa de floración (de los 16 a 45 días después del trasplante), se observan absorciones entre el 5 y 26%, presentándose absorciones entre el 20 y 26% en los macronutrientes primarios (N, P y K), en los macroelementos secundarios, las absorciones observadas fueron del 5% para el calcio y

el 11% para el magnesio, mientras que los micronutrientes presentaron absorciones entre el 5 y 19%, observándose el más bajo porcentaje de absorción en el manganeso y el más alto porcentaje en el cobre. En la etapa de fructificación se presentan las mayores absorciones de nutrientes, las cuales oscilaron entre el 73 y el 94%. Cabe destacar que la fase de fructificación fue la etapa más extensa del ciclo y por ello se acumuló el 70% de la materia seca. De los macronutrientes primarios, el nitrógeno fue el mayor demandado en esta etapa pues se absorbió el 79%, el fósforo durante la fase de fructificación alcanzó una absorción del 78% mientras que del potasio se absorbió el 73%. En los macronutrientes secundarios, el calcio fue absorbido en un 94% mientras que el magnesio alcanzó una absorción del 88%.

Los micronutrientes alcanzaron una absorción entre el 80 y el 94%, observándose que se absorbió el 80% del cobre total, el 83% del zinc, el 85% del hierro y el 94% del manganeso.

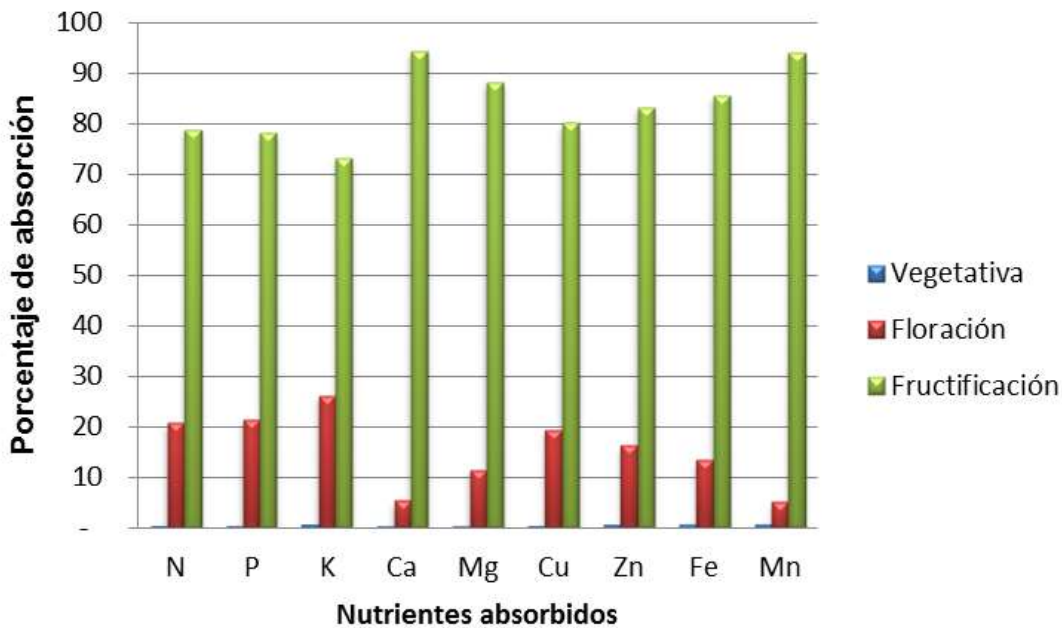


Figura 15. Porcentajes de absorción de nutrientes por etapa en el cultivo de pepino híbrido diomede

6 Conclusiones

- 6.1 Con base en la curva de crecimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L. híbrido Diomede), se determinó que en la etapa vegetativa se produjo menos del 1% de la materia seca, en la etapa de floración se acumuló el 29%, mientras que en la etapa de fructificación se generó el 70% de la materia seca. El 88% de la materia seca total fue generada en los frutos y las hojas, contribuyendo los frutos con más del 48% de la biomasa.
- 6.2 Con base en las curvas de absorción se determinó que en la fase vegetativa el cultivo utilizó menos del 1% de los nutrientes; durante la fase de floración, el cultivo requirió cerca del 26% de N, P, K y Cu, el 16% de Zn, Fe y Mg, mientras que se utilizó solo el 5% de calcio y manganeso. En la etapa de fructificación, el cultivo requirió del 73% de N, P, K y Cu, el 83% de Zn, Fe y Mg, y el 94% de calcio y manganeso.
- 6.3 Para producir 167.2 toneladas de frutos por hectárea, el cultivo utilizó: 442.90 kg ha⁻¹ de potasio, 399.58 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 363.94 kg ha⁻¹ de calcio, 75.30 kg ha⁻¹ de fósforo, 71.44 kg ha⁻¹ de magnesio, 2.13 kg ha⁻¹ de hierro, 0.63 kg ha⁻¹ de zinc, 0.40 kg ha⁻¹ de manganeso y 0.17 g ha⁻¹ de cobre.

7 Recomendaciones

Bajo las condiciones edafoclimáticas y de manejo de este estudio, se recomienda distribuir los nutrientes según las etapas fenológicas como se indica a continuación:

- 7.1 Etapa vegetativa: aplicar el 5% de todos los nutrientes.
- 7.2 Etapa de floración: Aplicar el 20% de los macronutrientes primarios (N, P, K), el 10% de los macroelementos secundarios (Ca, Mg), el 15% de Cu, Zn y Fe, y el 5% de Mn.
- 7.3 Etapa de fructificación: Debido a que esta etapa es la más extensa con un periodo de 75 días, se recomienda distribuir las cantidades de nutrientes en tres aplicaciones:
- 7.4 A los 60 días después del trasplante aplicar el 20% de K, Mg, Zn y Fe, el 15% de N, P, Ca, Cu y Mn. A los 75 días después del trasplante aplicar el 25% de N, P, K, Mg, Zn y Mn y el 20% de Ca, Cu y Fe. A los 90 días después del trasplante aplicar el 50% de Mn y Ca, 45% de Cu, 40% de Mg y Fe, 35% de N, P y Zn y 30% de K.

En el cuadro 26, se puede apreciar la cantidad de nutriente a aplicar según la etapa fenológica del cultivo de pepino híbrido diomede.

Cuadro 26. Recomendación de aplicación de nutrientes

Nutriente	Cantidad de nutriente a aplicar kg ha ⁻¹				
	Etapa vegetativa 15 DDT	Etapa de floración 30 DDT	Etapa de fructificación		
			60 DDT	75 DDT	90 DDT
N	20.0	79.9	59.9	99.9	139.9
P	3.8	15.1	11.3	18.8	26.4
K	22.1	88.6	88.6	110.7	132.9
Ca	18.2	36.4	54.6	72.8	182.0
Mg	3.6	7.1	14.3	17.9	28.6
Nutriente	Cantidad de nutriente a aplicar g ha ⁻¹				
	Etapa vegetativa 15 DDT	Etapa de floración 30 DDT	Etapa de fructificación		
			60 DDT	75 DDT	90 DDT
Cu	8.9	26.8	26.8	35.7	80.4
Zn	31.5	94.6	126.1	157.7	220.8
Fe	106.5	319.6	426.1	426.1	852.1
Mn	20.2	20.2	60.7	101.2	202.3

DDT= Días después del trasplante

8 Bibliografía

1. AGREQUIMA. (Mayo de 2012). Impacto social y económico del sector agrícola guatemalteco sobre la economía nacional. Recuperado el 17 de Agosto de 2013, de <http://www.agrequima.com.gt/images/stories/presentaciones-iv/agrequima-estudio-190412.pdf>
2. BANGUAT. (Agosto de 2015). 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
3. Barrasa A, F. V. (s.f.). Acumulación de materia seca del cultivo de pepino. Recuperado el 10 de Septiembre de 2013, de UNICORDOBA: <http://www.unicordoba.edu.co/revistas/rta/documentos/17-2/2.%20ACUMULACION%20DE%20MATERIA%20SECA%20PEPINO.pdf>
4. Bertsch, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
5. Bertsch, F. (Abril de 2005). Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. 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)
6. BIONICA. (Febrero de 2010). Guía técnica del cultivo de pepino. Recuperado el Septiembre de 2013, de <http://www.bionica.info/biblioteca/pepino%20guia%20tecnica.pdf>
7. Camacho Ferre, F. (2011). El cultivo de pepino bajo invernadero. Almería, España: Universidad de Almería. Recuperado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAAahUKEwiT69qB_dvHAhXGiw0KHZRWDDeA&url=http%3A%2F%2Fwww.agro-alimentarias.coop%2Farchivos%2Fdoc%2F02430.pdf&usg=AFQjCNGqN9tUSFNo1Cv4gpeA3TPWB8hMiw&bvm=bv.101800829,d.eXY&cad=rja
8. Ciampitti, I., & García, F. (2007). Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios II: hortalizas, frutales y forrajeras. US, IPNI, Archivos agronómicos. Recuperado de <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1083>
9. Clasificación y propiedades del pepino. 2013. Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de Salud y Buenos Alimentos: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=Verduras%2FHortalizas&s2=Frutos&s3=Pepino>

10. 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>
11. FAO, IT. (2006). Fichas técnicas. Recuperado el 5 de Septiembre de 2013, de http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/PEPINO.HTM
12. FAO, IT. (s.f.). Pepino. Recuperado el 22 de Agosto de 2013, de FAO: http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/PEPINO.HTM
13. FAOSTAT, IT. (2015). Producción. Recuperado el 25 de Febrero de 2015, de FAO, Statistics Division: http://faostat3.fao.org/browse/Q/*E
14. Fernández, P. A. (2010). Efecto de los bioestimulantes foliares en el cultivo del pepino (*Cucumis sativus*, L.) Sarig-454 en casas de cultivo protegido. Recuperado el 14 de agosto de 2013, de Investigación y Saberes 1(2). <http://utelvt.edu.ec/ojs/index.php/is/article/view/18>
15. Gázquez, J. C., Meca, D., & Cabrera, A. (Abril de 2004). Ensayo de 8 cultivares de pepino Almería (*Cucumis sativus*) tolerantes al virus de las venas amarillas (CVYC) en invernadero, ciclo extratardío de otoño. Campaña 02/03. Recuperado el 13 de agosto de 2013, de caja mar: <http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/ensayo-de-8-cultivares-de-pepino-almeria-cucumis-sativus-tolerantes-al-virus-de-las-venas-amarillas-cvyc-en-invernadero-ciclo-extratardio-de-otono-campana-0203/>
16. Guadalupe, M. G. (2004). Efecto de N, P, K, Ca y Mg en etapas iniciales de crecimiento de calabaza (*Cucurbita pepo*), chile (*Capsicum annum*), melón (*Cucumis melo*), pepino (*Cucumis sativus*) y sandía (*Citrullus lannatus*). Tesis. Universidad de Guadalajara. Recuperado el 29 de Marzo de 2015, de http://biblioteca.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2335/Mata_Garcia_Maria_Guadalupe.pdf?sequence=1
17. Harry, A., Mills, J. B. (1996). Plant analysis handbook II: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide (ilustrada, revisada ed.). v. 2.
18. Herrera Orozco, W. S. (Noviembre de 2011). Trabajo de graduación: evaluación del rendimiento de dos variedades de papa (*S. tuberosum* L.) para producción de semilla vegetativa en sistemas protegidos, bajo condiciones del Centro Experimental Docente de Agronomía –CEDA– y servicios para el VI Encuentro Nacional de la Horticultura FASAGUA-FAUSAC, Guatemala, C. A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. Recuperado el 21 de Septiembre de 2013. de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2692.pdf

19. Hochmuth, R. (2001). Greenhouse cucumber production-Florida greenhouse vegetable production handbook. vol. 3. US, University of Florida: Extension Service / Institute of Food and Agricultural Sciences. s.p.
20. IDESIA. (agosto de 2011). Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda: www.scielo.cl. Recuperado el 11 de Agosto de 2013, de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292011000200003&script=sci_arttext
21. 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.
22. Imexcor. (2011). Macronutrientes: Imexcor s.r.l. Recuperado el 15 de Septiembre de 2015, de <http://www.imexcor.com.ar/nitrogeno.htm>
23. 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%20%20%20&query=@title=Special:GSMSearchPage@process=@subheadings=PROYECTOS%20AGRICOLAS%20CULTIVO%20@mode=&recnum=1&mode=>
24. Lazcano, I. (1999). Nuevos criterios en la recomendación de fertilizantes en sistemas de alta productividad agrícola en México. *Informaciones Agronómicas*, no. 1-5.
25. Linares, P. (2012). Comercialización (producción de maíz) y proyecto: producción de pepino. Recuperado el 20 de Febrero de 2015, de http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0796_v9.pdf
26. Lombo Rodríguez, A., Vargas Ángel, L. (17 de Febrero de 2009). Determinación de las curvas de absorción de elementos secundarios en el cultivo del pepinillo (*Cucumis sativus*) en la granja de la Universidad de Los Llanos (sede Barcelona). Tesis Ing. Agr. Colombia, Universidad de Los Llanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Programa de Ingeniería Agronómica. Recuperado el 18 de Septiembre de 2013, de <http://www.slideshare.net/guestc3cb544/sustentacion-tesis-1002947>
27. López-Elías, L., Rodríguez, J. C., Huez L, M. A., Garza O, S., Jiménez L, J., Leyva E, E. I. (2011). Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *Idesia* 29(2). Recuperado el 29 de Marzo de 2015, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292011000200003&lng=es&tlng=es.10.4067/S0718-34292011000200003
28. Marcano, C., Acevedo, I., Contreras, J., Jiménez, O., Escalona, A., & Pérez, P. (31 de Diciembre de 2012). Crecimiento y desarrollo del cultivo de pepino (*Cucumis*

sativus L.) en la zona hortícola de Humocaro bajo, estado de Lara, Venezuela. Recuperado el 6 de agosto de 2013, de Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263124770012>

29. Medrano Cortés, E. (1999). Gestión de riego en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en sustrato bajo invernadero. Recuperado el 14 de agosto de 2013, de Archivo Digital UPM: <http://oa.upm.es/692/>
30. Metaliser. (2013). Hortalizas. Recuperado el 10 de Septiembre de 2013, de <http://www.hortalizas.com/variedades-de-semillas/centroamerica/pepino>
31. Paz, J. (Febrero de 2004). Efecto de la gallinaza y lirio acuático en el rendimiento de pepino (*Cucumis sativus* L.). San Miguel Petapa, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. Recuperado el 05 de Mayo de 2015, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2113.pdf
32. Romero, E., Rodríguez, A., & Rázuri, L. (Junio de 2009). Estimación de las necesidades hídricas del cultivo de pepino durante las diferentes etapas fenológicas, mediante la tina de evaporación. Tesis Ing. Agr. Venezuela, Universidad de Los Andes. Recuperado el 5 de Septiembre de 2013, de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/30236/1/articulo5.pdf>
33. SAGARPA. (2012). Inteligencia de mercado de pepino. Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de <http://intranet.cibnor.mx/personal/bmurillo/docs/inteligencia-mercado-pepino.pdf>
34. SAKATA. (2013). Sakate seed. Recuperado el 19 de Septiembre de 2013, de <http://www.sakata.com.gt/es/tomate-variedades.html>
35. Sancho V, H. (2011). Curvas de absorción de nutrientes: importancia y uso en los programas de fertilización. Informaciones Agronómicas no. 36, p. 11-13. 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)
36. Saravia Chávez, F. M. (2004). Elaboración de curvas de absorción de nutrientes para la variedad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Alboran bajo condiciones de invernaderos en Zamorano, Honduras. Tegucigalpa, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana "El Zamorano". 25 p. Recuperado el 18 de Septiembre de 2013, de <http://catalogo.zamorano.edu/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=20417>
37. Simmons, C., Tárano, J. M., & Pinto, J. H. (1959). Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Guatemala: José De Pineda Ibarra.

38. SYNGENTA. (2014). Semillas de vegetales. Recuperado el 14 de Marzo de 2015, de Semilla Híbrida de Pepino: http://www3.syngenta.com/country/gt/sp/Soluciones/Semillas/Semillas_Vegetales/Pepino/Paginas/Diomedede.aspx
39. Tarrats, F. (2011). Experiencias con plagas enfermedades en invernaderos de tomate. Recuperado el 25 de Agosto de 2013, de Centro de Investigación y Capacitación Koppert Rapel: [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)
40. UPIE-MAGA. (2000). Primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la república de Guatemala a escala 1:250,000. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 27 p.
41. USDA. (1997). United States standards for grades of cucumbers. In United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Fruit and Vegetable Division: Fresh Products Branch.
42. Visión Rural. (12 de Enero de 2012). El tomate. Recuperado el 17 de Agosto de 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 16A.Preparación de suelo y siembra



Figura 17A.Muestreo de suelos



Figura 18A. Tutorado del cultivo de pepino híbrido diomede



Figura 19A. Floración y cuajado de frutos en el cultivo de pepino híbrido diomede



Figura 20A.Toma de peso fresco



Figura 21A. Medición de temperatura y humedad relativa

Cuadro 27A. Rangos de suficiencia nutricional en las hojas pepino

%	N	3.50 – 6.00
	P	0.25 – 1.25
	K	3.50 - 5.50
	Ca	1.40 – 5.5
	Mg	0.30 – 1.00
ppm	Fe	50 – 300
	Mn	50 - 400
	Cu	5 – 20
	Zn	25 – 300

Fuente: (Harry A. Mills, 1996)

Cuadro 28A. 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 29A. Concentración y absorción de macroelementos primarios

Días después del trasplante	Órgano	%			kg/ha		
		N	P	K	N	P	K
0	Hojas	0.65	0.17	0.50	0.01	0.00	0.00
	Tallo	0.44	0.12	0.33	0.00	0.00	0.00
	Raíz	0.89	0.24	0.68	0.01	0.00	0.01
	Total				0.02	0.01	0.01
15	Hojas	2.57	0.35	3.47	1.15	0.16	1.55
	Tallo	2.11	0.28	2.84	0.76	0.10	1.02
	Raíz	0.00	0.61	5.19	0.00	0.04	0.35
	Total				1.91	0.30	2.93
30	Hojas	1.46	0.31	1.77	7.11	1.51	8.65
	Tallo	1.46	0.31	1.77	6.56	1.40	7.97
	Raíz	0.03	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00
	Flores	0.19	0.04	0.24	0.22	0.05	0.26
	Zarcillos	0.10	0.02	0.12	0.03	0.01	0.04
	Fruto	3.64	0.66	4.50	41.93	7.60	51.84
	Total				55.84	10.57	68.76
45	Hojas	1.02	0.22	1.64	11.67	2.53	18.71
	Tallo	1.68	0.36	2.69	12.55	2.72	20.13
	Raíz	0.03	0.01	0.05	0.00	0.00	0.01
	Flores	0.18	0.04	0.29	0.47	0.10	0.75
	Zarcillos	0.09	0.02	0.14	0.03	0.01	0.05
	Fruto	2.60	0.48	3.43	59.90	11.06	79.03
	Total				84.63	16.42	118.67
60	Hojas	0.93	0.22	1.32	18.26	4.34	25.90
	Tallo	1.55	0.37	2.20	13.66	3.25	19.38
	Raíz	0.06	0.01	0.08	0.02	0.01	0.03
	Flores	0.20	0.05	0.28	0.52	0.12	0.74
	Zarcillos	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	Fruto	2.73	0.53	3.31	104.83	20.35	127.10
	Total				137.30	28.06	173.15
75	Hojas	3.48	0.61	3.00	103.98	18.23	89.64
	Tallo	1.81	0.59	5.00	16.74	5.46	46.24
	Raíz	1.74	0.59	3.75	0.70	0.24	1.50
	Flores	2.48	0.48	3.24	8.03	1.55	10.50
	Zarcillos	0.58	0.11	0.76	0.26	0.05	0.34
	Fruto	2.73	0.53	3.31	136.28	26.46	165.24
	Total				265.99	51.98	313.45
90	Hojas	3.07	0.59	2.00	124.09	23.85	80.84
	Tallo	2.22	0.65	5.00	20.89	6.12	47.06
	Raíz	1.64	0.64	3.75	0.68	0.26	1.55
	Flores	1.83	0.53	3.65	7.98	2.33	15.89
	Zarcillos	0.43	0.13	0.86	0.23	0.07	0.46
	Fruto	2.73	0.53	3.31	157.25	30.53	190.66
	Total				311.12	63.16	336.45
105	Hojas	3.78	0.65	2.94	177.25	30.48	137.86
	Tallo	2.52	0.57	5.44	24.74	5.60	53.40
	Raíz	2.28	0.59	4.94	0.96	0.25	2.07
	Flores	1.59	0.47	4.16	7.72	2.28	20.19
	Zarcillos	0.37	0.11	0.97	0.22	0.07	0.58
	Fruto	2.73	0.53	3.31	188.70	36.63	228.79
	Total				399.58	75.30	442.90
120	Hojas	2.48	0.47	1.56	149.33	28.30	93.93
	Tallo	1.57	0.42	3.56	16.70	4.47	37.88
	Raíz	1.54	0.47	2.94	0.67	0.20	1.28
	Flores	1.49	0.38	3.75	7.54	1.92	18.96
	Zarcillos	0.35	0.09	0.88	0.23	0.06	0.57
	Fruto	2.73	0.53	3.31	199.18	38.67	241.50
	Total				373.64	73.62	394.12

Cuadro 30A. Concentración y absorción de macroelementos secundarios

Días después del trasplante	Órgano	%		kg/ha	
		Ca	Mg	Ca	Mg
0	Hojas	0.46	0.41	0.00	0.00
	Tallo	0.30	0.28	0.00	0.00
	Raíz	0.62	0.56	0.01	0.01
	Total			0.01	0.01
15	Hojas	1.41	0.31	0.63	0.14
	Tallo	1.15	0.25	0.41	0.09
	Raíz	0.69	0.23	0.05	0.02
	Total			1.09	0.24
30	Hojas	0.96	0.21	4.67	1.03
	Tallo	0.96	0.21	4.31	0.95
	Raíz	0.02	0.00	0.00	0.00
	Flores	0.13	0.03	0.14	0.03
	Zarcillos	0.06	0.01	0.02	0.00
	Fruto	0.50	0.28	5.76	3.23
	Total			14.91	5.24
45	Hojas	0.45	0.12	5.10	1.36
	Tallo	0.73	0.20	5.48	1.46
	Raíz	0.01	0.00	0.00	0.00
	Flores	0.08	0.02	0.20	0.05
	Zarcillos	0.04	0.01	0.01	0.00
	Fruto	0.43	0.24	9.91	5.53
	Total			20.70	8.41
60	Hojas	0.64	0.13	12.56	2.53
	Tallo	1.07	0.21	9.40	1.89
	Raíz	0.04	0.01	0.01	0.00
	Flores	0.14	0.03	0.36	0.07
	Zarcillos	0.01	0.00	0.00	0.00
	Fruto	0.63	0.31	24.19	11.90
	Total			46.52	16.39
75	Hojas	4.31	0.65	128.78	19.42
	Tallo	1.44	0.49	13.32	4.53
	Raíz	1.19	0.25	0.48	0.10
	Flores	2.58	0.51	8.37	1.65
	Zarcillos	0.61	0.12	0.27	0.05
	Fruto	0.63	0.31	31.45	15.48
	Total			182.67	41.24
90	Hojas	4.44	0.74	179.46	29.91
	Tallo	1.69	0.38	15.91	3.58
	Raíz	1.56	0.27	0.64	0.11
	Flores	2.88	0.56	12.57	2.44
	Zarcillos	0.68	0.13	0.37	0.07
	Fruto	0.63	0.31	36.29	17.86
	Total			245.24	53.96
105	Hojas	4.13	0.64	193.66	30.01
	Tallo	1.38	0.39	13.55	3.83
	Raíz	1.63	0.30	0.68	0.13
	Flores	2.18	0.37	10.59	1.81
	Zarcillos	0.51	0.09	0.30	0.05
	Fruto	0.63	0.31	43.55	21.43
	Total			262.33	57.25
120	Hojas	4.75	0.68	286.01	40.94
	Tallo	1.56	0.51	16.60	5.43
	Raíz	1.38	0.30	0.60	0.13
	Flores	2.84	0.45	14.33	2.25
	Zarcillos	0.67	0.10	0.43	0.07
	Fruto	0.63	0.31	45.96	22.62
	Total			363.94	71.44

Cuadro 31A. Concentración y absorción de microelementos

Días después del trasplante	Órgano	ppm				g/ha			
		Cu	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn
0	Hojas	23.10	31.35	80.85	19.80	0.02	0.03	0.06	0.02
	Tallo	15.40	20.90	53.90	13.20	0.01	0.02	0.04	0.01
	Raíz	31.50	42.75	110.25	27.00	0.04	0.05	0.13	0.03
	Total					0.07	0.09	0.24	0.06
15	Hojas	11.00	49.50	123.75	35.75	0.49	2.22	5.54	1.60
	Tallo	9.00	40.50	101.25	29.25	0.32	1.46	3.65	1.05
	Raíz	10.00	55.00	1325.00	65.00	0.07	0.37	9.01	0.44
	Total					0.88	4.05	18.20	3.10
30	Hojas	4.50	33.75	238.50	24.75	2.19	16.46	116.29	12.07
	Tallo	4.50	33.75	238.50	24.75	2.02	15.17	107.23	11.13
	Raíz	0.10	0.75	5.30	0.55	0.00	0.01	0.05	0.01
	Flores	0.60	4.50	31.80	3.30	0.07	0.50	3.52	0.37
	Zarcillos	0.30	2.25	15.90	1.65	0.01	0.07	0.48	0.05
	Fruto	10.00	45.00	30.00	5.00	11.52	51.84	34.56	5.76
Total					15.81	84.04	262.14	29.38	
45	Hojas	5.10	15.30	64.60	5.10	5.83	17.50	73.90	5.83
	Tallo	8.40	25.20	106.40	8.40	6.28	18.83	79.50	6.28
	Raíz	0.15	0.45	1.90	0.15	0.00	0.01	0.03	0.00
	Flores	0.90	2.70	11.40	0.90	0.23	0.70	2.96	0.23
	Zarcillos	0.45	1.35	5.70	0.45	0.02	0.05	0.20	0.02
	Fruto	10.00	30.00	65.00	5.00	23.04	69.12	149.76	11.52
Total					35.40	106.21	306.35	23.88	
60	Hojas	3.30	23.10	82.50	9.90	6.47	45.32	161.87	19.42
	Tallo	5.50	38.50	137.50	16.50	4.84	33.91	121.11	14.53
	Raíz	0.20	1.40	5.00	0.60	0.01	0.05	0.19	0.02
	Flores	0.70	4.90	17.50	2.10	0.18	1.29	4.60	0.55
	Zarcillos	0.03	0.21	0.75	0.09	0.00	0.01	0.03	0.00
	Fruto	10.00	40.00	60.00	5.00	38.40	153.60	230.40	19.20
Total					49.91	234.18	518.19	53.74	
75	Hojas	5.00	50.00	170.00	40.00	14.94	149.40	507.96	119.52
	Tallo	10.00	35.00	100.00	30.00	9.25	32.37	92.48	27.74
	Raíz	15.00	80.00	540.00	80.00	0.60	3.20	21.60	3.20
	Flores	8.10	40.50	113.40	24.30	2.62	13.12	36.74	7.87
	Zarcillos	1.90	9.50	26.60	5.70	0.09	0.43	1.19	0.26
	Fruto	10.00	40.00	60.00	5.00	49.92	199.68	299.52	24.96
Total					77.42	398.20	959.49	183.55	
90	Hojas	10.00	65.00	275.00	65.00	40.42	262.73	1111.55	262.73
	Tallo	10.00	40.00	75.00	15.00	9.41	37.65	70.59	14.12
	Raíz	15.00	75.00	750.00	70.00	0.62	3.09	30.90	2.88
	Flores	12.15	44.55	166.05	36.45	5.30	19.42	72.40	15.89
	Zarcillos	2.85	10.45	38.95	8.55	0.15	0.56	2.10	0.46
	Fruto	10.00	40.00	60.00	5.00	57.60	230.40	345.60	28.80
Total					113.50	553.86	1633.14	324.89	
105	Hojas	10.00	60.00	325.00	70.00	46.89	281.35	1523.99	328.24
	Tallo	5.00	50.00	100.00	25.00	4.91	49.08	98.16	24.54
	Raíz	10.00	85.00	635.00	75.00	0.42	3.57	26.67	3.15
	Flores	8.10	40.50	133.65	28.35	3.94	19.68	64.95	13.78
	Zarcillos	1.90	9.50	31.35	6.65	0.11	0.56	1.86	0.39
	Fruto	10.00	40.00	60.00	5.00	69.12	276.48	414.72	34.56
Total					125.39	630.73	2130.35	404.67	
120	Hojas	15.00	45.00	195.00	40.00	90.32	270.95	1174.13	240.85
	Tallo	10.00	30.00	85.00	15.00	10.64	31.92	90.44	15.96
	Raíz	10.00	70.00	365.00	40.00	0.44	3.05	15.91	1.74
	Flores	8.10	36.45	113.40	24.30	4.10	18.43	57.34	12.29
	Zarcillos	1.90	8.55	26.60	5.70	0.12	0.55	1.72	0.37
	Fruto	10.00	40.00	60.00	5.00	72.96	291.84	437.76	36.48
Total					178.57	616.75	1777.31	307.69	