

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA PARACENTRAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
INGENIERÍA AGRONÓMICA**



Título de la investigación:

Extracto líquido de estiércol bovino y fertilizantes inorgánicos en el rendimiento de chile dulce (*Capsicum annuum* L.), variedad Nathalie, en un sistema hidropónico.

PRESENTADO POR:

Br. Díaz Ayala, Jaime Alberto

Br. Ponce Majano, Carlos Armando

Br. Rodríguez Gallegos, Edwin Oswaldo

REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO AGRONOMO

San Vicente, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR: LIC. M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL: LIC. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA PARACENTRAL

DECANA: LICDA. M. Sc. YOLANDA CLEOTILDE JOVEL PONCE

SECRETARIA: LICDA. M.Sc. ELIDA CONSUELO FIGUEROA DE FIGUEROA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

Ing. Agr. M.Sc. René Francisco Vásquez

DOCENTES ASESORES:

Lic. M. Sc. Nelsus Armando López Turcios

Ing. Agr. Edgard Felipe Rodríguez

DIRECTOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION

Ing. Agr. Edgard Felipe Rodríguez

RESUMEN

El estudio fue realizado en el Centro de Investigación y Practicas (CIP) del Departamento de Ciencias Agronómicas, Facultad Multidisciplinaria Paracentral; ubicado en el municipio de Santiago Nonualco, departamento de La Paz; de la Universidad de El Salvador. El objetivo del ensayo fue evaluar extracto líquido de estiércol bovino (ELEB), acidulado con ácido fosfórico (H_3PO_4) y complementado con fertilizantes inorgánicos, en comparación con solución nutritiva Steiner, a un nivel de conductividad eléctrica (CE) ($1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en el desarrollo vegetativo y productivo de chile dulce c.v Nathalie (*Capsicum annuum* L.) en un sistema hidropónico abierto, usando como sustrato fibra de coco. En el experimento fue empleado un modelo estadístico completamente al azar, con tres tratamientos: Solución nutritiva Steiner (T_0), solución nutritiva a base de ELEB acidulado con H_3PO_4 y complementado con CH_4N_2O y $Mg(NO_3)_2\cdot 6H_2O$ (T_U), solución nutritiva a base de ELEB acidulado con H_3PO_4 y complementado con $Mg(NO_3)_2\cdot 6H_2O$ (T_{Mg}), con 6 repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, número de frutos, longitud de fruto y peso de fruto. Los resultados del experimento demostraron que en cuanto a las variables de desarrollo vegetativo hasta los 45 ddt no existió diferencias significativas entre tratamientos, a partir de los 60 ddt si existieron diferencias significativas, destacando T_0 , en altura y número de hojas. En las variables de desarrollo productivo existieron diferencias significativas entre los tratamientos, respecto al número de frutos fue T_U el tratamiento que sobresalió y entre T_0 y T_{Mg} no hubo diferencias estadísticas respecto a dicha variable. Por su parte, las variables peso y longitud de fruto, fue T_0 el tratamiento que implicó frutos de mayor peso y longitud seguido por T_{Mg} , T_U presentó los frutos de menor tamaño y peso. T_0 superó a T_U y T_{Mg} , en ganancias promedio diarias de las variables de desarrollo vegetativo como en el rendimiento de fruto ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). En términos económicos T_0 implica mayores costos totales de producción, no obstante, fue el más rentable.

El empleo de soluciones nutritivas a base de ELEB aciduladas y complementadas, constituyen alternativas amigables con el medio ambiente y representan menores costos de producción, por lo que, a mediano o largo plazo, constituyen alternativas viables económicamente, ya que garantizan la sostenibilidad del suelo y agua, es decir, suponen no invertir en enmiendas que corrijan daños ocasionados a dichos recursos naturales por el empleo exclusivo de fertilizantes sintéticos.

Palabras clave: Solución nutritiva, Estiércol bovino, ELEB, Hidroponía.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS TODO PODEROSO Y LA SANTÍSIMA VIRGEN MARIA, por acompañarme en cada momento de mi vida, ser mi protección y mi mayor fortaleza para lograr terminar mis estudios universitarios.

A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, FACULTAD PARACENTRAL, por la oportunidad de preparación universitaria, a la vez contribuir en el forjamiento y aprendizaje como estudiante de la carrera ciencias agronómicas y así obtener el título de Ing. Agrónomo.

A MIS PADRES, José Alejandro Díaz Martínez y María Sara Ayala de Díaz, por el trabajo realizado como unos buenos educadores, ejemplo a seguir y apoyo incondicional durante toda mi preparación universitaria.

A MIS HERMANOS, Dina Díaz, Efraín Díaz, Carlos Díaz, Roxana Díaz, Gloria Díaz, Carmen Díaz, Gilma Díaz, William Díaz, Rosmeri Díaz y Jazmín Díaz, por el trabajo en familia, para superar juntos las dificultades que se presentaron durante el transcurso de mis estudios.

A MIS ACESORES DE TESIS, Lic. M Sc Nelsus Armando López Turcios y Ing. Agr. Edgard Felipe Rodríguez, por aceptar el compromiso de estar como asesores del trabajo de investigación y a la vez hacer sus tiempos disponibles siempre que se les solicitaba ayuda.

A LOS DOCENTES DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRONOMICAS, en especial al jefe del departamento Ing. Vázquez por brindar el apoyo en el área estadístico del trabajo de investigación, a la Ing. Lourdes, Ing. Alas y al Lic. Rodrigo por el apoyo en nuestro trabajo de investigación.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS, Carlos Armando Ponce y Edwin Oswaldo Rodríguez Gallegos, que siempre estuvieron en las buenas y malas durante el proceso de investigación.

A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO, a cada uno de mis buenos amigos que un día entramos como compañeros de la carrera y juntos realizamos trabajos en las diferentes materias.

Jaime Alberto Díaz Ayala

A MIS PADRES, Dora Vilma Majano y Hugo Armando Ponce, por su apoyo incondicional en todo momento.

A UNA MUJER ESPECIAL, Evelin del Carmen Aquino Mejía, porque a pesar de todo, siempre me apoyo cuando más se necesitaba, en este proyecto, fue clave contar con ella.

A MIS ASESORES, Lic. M. Sc. Nelsus Armando López Turcios y Ing. Agr. Edgard Felipe Rodríguez por todo su apoyo, dedicación y comprensión.

A EL CUERPO DE DOCENTES, que conforman el Departamento de Ciencias Agronómicas por darme una excelente formación académica.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE TESIS, Edwin Oswaldo Rodríguez Gallegos y Jaime Alberto Díaz Ayala por su apoyo y compañerismo durante el trabajo de investigación.

A UN GRAN AMIGO, y apoyo Carlos Alberto Rodríguez González.

Carlos Armando Ponce Majano

A MI FAMILIA, por su apoyo y ayuda incondicional, en todo momento, en especial a mi madre, María Barbara Gallegos.

A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, Facultad Paracentral, y en especial a todo el personal que labora en el Departamento de Ciencias Agronómicas.

A MIS ASESORES, Lic. M. Sc. Nelsus Armando López Turcios y Ing. Agr. Edgard Felipe Rodríguez, por su valiosa dirección en este trabajo, por la dedicación y espacio otorgado para la revisión de este documento, así como sus valiosas sugerencias y observaciones.

A MIS COMPAÑEROS/AS, de estudio por su sincera amistad y apoyo a lo largo de la carrera, en especial a Francisco Javier Martínez Portillo y Erick Balmore Medrano.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS, Carlos Armando Ponce Majano y Jaime Alberto Díaz Ayala porque gracias al trabajo en equipo y compañerismo hemos logrado concluir esta tesis.

A EL PERSONAL DEL CIP, por su amistad y apoyo durante la fase de campo de la investigación.

Edwin Oswaldo Rodríguez Gallegos

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE LITERATURA	2
2.1. Origen e importancia del chile dulce (<i>Capsicum annum L.</i>)	2
2.1.1. Descripción taxonómica	2
2.1.2. Descripción morfológica	3
2.1.2. Requerimientos del cultivo	4
2.1.3.1. Climáticos	4
2.1.3.2. Hídricos	4
2.1.3.3. Nutricionales	4
2.2. La Hidroponía	4
2.2.1. Importancia de la hidroponía	5
2.2.2. Ventajas y desventajas	6
2.2.3. Usos	6
2.2.4. Sustratos	7
2.2.4.1. Tipos de sustratos	7
2.2.4.2. Características de los sustratos	8
2.2.5. Soluciones nutritivas	8
2.2.6.1. Recirculante ó NFT	10
2.2.6.2. Raíz Flotante	10
2.2.6.3. Aeropónico	10
2.2.6.4. Riego por goteo	10
2.2.7. Sistemas Hidropónicos alternativos	11
2.2.7.1. Estiércol Bovino	11
2.2.7.2. Extracto liquido de estiércol bovino	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Localización y periodo de ejecución	13
3.2. Condiciones edafoclimáticas	13
3.2.1 Características climáticas	13
3.2.2. Características edáficas	13

3.3. Fase de laboratorio -----	13
3.3.1. Análisis químico de ELEB -----	14
3.4. Fase de campo -----	14
3.4.1. Elaboración de sustrato -----	14
3.4.2. Preparación de casa malla -----	14
3.4.3. Elaboración de ELEB -----	14
3.4.4. Formulación de tratamientos -----	14
3.4.5. Establecimiento del cultivo -----	15
3.4.5.1. Semillero -----	15
3.4.5.2. Trasplante -----	15
3.4.5.3. Distribución de los tratamientos. -----	15
3.4.6. Manejo del cultivo -----	15
3.4.6.1. Riego -----	15
3.4.6.2. Manejo de plagas y enfermedades -----	16
3.4.6.3. Tutorio -----	17
3.4.6.4. Cosecha -----	17
3.4.7. Preparación de soluciones concentradas y nutritivas -----	17
3.4.7.1. Soluciones concentradas -----	17
3.4.7.2. Soluciones nutritivas -----	17
3.5. Metodología Estadística -----	18
3.6. Variables a evaluar -----	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	19
4.1.1. Caracterización de ELEB -----	19
4.2. Resultados a nivel de campo -----	20
4.2.1. Numero de hojas -----	20
4.2.2. Altura de plantas -----	21
4.2.3. Diámetro de tallo -----	22
4.3. Desarrollo productivo -----	23
4.4. Análisis económico y ecológico -----	25
V. CONCLUSIONES -----	28
VI. RECOMENDACIONES -----	29
VII. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA -----	30
VIII. ANEXOS -----	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del chile dulce.....	2
Tabla 2. Condiciones climáticas adecuadas para el cultivo de chile	5
Tabla 3. Volúmenes de riego (L) por aplicación a diario y semanal.....	16
Tabla 4. Contenido nutrimental del ELEB acidulado con H ₃ PO ₄	19
Tabla 5. Incremento promedio diario en número de hojas del cultivo de chile.....	21
Tabla 6. Crecimiento promedio diario del cultivo de chile.....	22
Tabla 7. Numero promedio de frutos de los tratamientos evaluados.	24
Tabla 8. Medias de peso de fruto para los tratamientos evaluados.....	24
Tabla 9. Medias de longitud de fruto para los tratamientos evaluados.	26
Tabla 10. Costos totales de producción por tratamiento.....	26
Tabla 11. Ingresos brutos por tratamiento.	26
Tabla 12. Análisis económico de los tratamientos evaluados.....	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Tabla A- 1. Ingredientes para preparar las soluciones concentradas por tratamiento.....	39
Tabla A- 2. Concentración de elementos presentes por tratamiento.....	39
Tabla A- 3. Volumen de ingredientes empleados para preparar las SN ELEB.....	39
Tabla A- 4. Fuentes de nutrimentos utilizados en la SN Steiner.	40
Tabla A- 5. Análisis de regresión lineal para la variable número de hojas.	40
Tabla A- 6. Análisis de regresión lineal para la variable altura de plantas.....	40
Tabla A- 7. Análisis de regresión lineal para la variable diámetro de tallo.....	41
Tabla A- 8. Análisis de varianza de variable número de hojas.	42
Tabla A- 9. Análisis de varianza para la variable altura de plantas.....	42
Tabla A- 10. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo.	42
Tabla A- 11. Análisis de varianza para la variable número de fruto.....	42
Tabla A- 12. Análisis de varianza para la variable peso de fruto.....	43
Tabla A- 13. Análisis de varianza para la variable longitud de fruto.	43

I. INTRODUCCIÓN

Una de las actividades más importantes del área agrícola es la producción de hortalizas, la cual genera ingresos económicos importantes para los productores (Arias & Duarte 2006), es por ello que se deben crear y adoptar técnicas adecuadas a nuestro sistema, que ayuden a reducir los costos y por consiguiente a elevar los ingresos; obteniendo así, mayor cantidad y mejor calidad de frutos (Peñate *et al* 2003). Dentro de estas técnicas se destaca la hidroponía, gracias a que se caracteriza por presentar gran flexibilidad, es decir, por la posibilidad de adaptarla con éxito en distintos ámbitos: ecológicos, económicos y sociales. No obstante, de acuerdo a Cuervo (2010) esta técnica presenta el problema de la alta dependencia hacia los fertilizantes químicos para realizar la solución nutritiva y que en lugares apartados donde hay limitantes en cuanto a los fertilizantes, dicho sistema no se podría implementar.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, es importante citar a Capulin *et al* (2004), quien afirma que el uso del extracto líquido de estiércol bovino (ELEB) usado como solución nutritiva, es una fuente importante de nutrimentos para las plantas en hidroponía, requiriendo únicamente un acondicionamiento para regular su pH, conductividad eléctrica (CE) y una complementación con sales minerales. Por otra parte, con la reutilización del estiércol para la elaboración de ELEB, se estaría contribuyendo a promover su manejo adecuado en las regiones ganaderas del país y de esa forma a disminuir la contaminación ambiental y a fomentar la cultura del reciclaje; en tanto que, en el plano económico, constituye una alternativa para reducir la dependencia de fertilizantes inorgánicos, y en consecuencia de sus efectos colaterales.

Bajo este contexto, en la presente investigación se contrastaron soluciones nutritivas a base de extracto líquido de estiércol bovino (ELEB) acondicionadas, frente a un fertilizante inorgánico (solución nutritiva Steiner) en el rendimiento de fruto de plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) c.v Nhatalie.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Origen e importancia del chile dulce (*Capsicum annum* L.)

El centro de origen se considera México y Centroamérica (Carravedo *et al*, 2005 citado por Aparicio, 2013), se trata de una hortaliza que ha aumentado su importancia en el país en los últimos años, por su alto valor nutritivo y la buena rentabilidad que ofrece al productor (CENTA, S/f citado por Cornejo *et al*, 2014). Su importancia nutritiva, se debe a que constituye una fuente considerable de nutrimentos, ya que en promedio 148 g de chiles contienen 30 calorías; 7 g de carbohidratos; 2 g de fibra dietética; 4 g de azúcar; un gramo de proteína; y proporciona 8 % de la dosis diaria recomendada de vitamina A, 180 % de vitamina C, 2 % de calcio y 2% de hierro (Bosland y Votava, 2000 citado por Ayala, 2012).

En cuanto a su rentabilidad, el cultivo manejado adecuadamente es altamente productivo y siempre existe una gran demanda en el mercado, debido a que después del tomate y la papa, es la solanácea más importante en la alimentación (Contreras, 1991 citado por Arias & Duarte, 2006).

2.1.1. Descripción taxonómica

En la Tabla 1 se especifica la descripción taxonómica del chile dulce

Tabla 1. Taxonomía del chile dulce

Reino	Vegetal
Subreino	Embriophyta
Phyllum	Antophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Dicotiledoneae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Tribu	Capsiceae
Genero	Capsicum
Especie	annuum
Nombre científico	Capsicum annum L.

Fuente: Antonio (2000) citado por Chamú (2010).

2.1.2. Descripción morfológica

La planta es un semiarbusto de forma variable y alcanza entre 0.60 m. a 1.50 m. de altura, dependiendo principalmente de la variedad, de las condiciones climáticas y del manejo (Arias & Duarte, 2006), su raíz principal es pivotante reforzada con un gran número de raíces adventicias; puede alcanzar una profundidad de 0.50 a 1.0 m con un radio de 0.50 m (Chamú, 2010), el sistema radical representa del 7 al 17 % del peso seco total de la planta adulta, dependiendo del genotipo, las condiciones de cultivo y las relaciones fuente-demanda (Wien 1999; Nuez *et al.*, 2003 citados por Ayala, 2012). El tallo puede tener forma cilíndrica o prismática angular, glabro, erecto y con altura variable, según la variedad. Esta planta posee ramas dicotómicas oseudodicotómicas, siempre una más gruesa que la otra, este tipo de ramificación hace que la planta tenga forma umbelífera (CENTA, S/f citado por Cornejo *et al.*, 2014).

La hoja es plana, sin vello, enteras y de forma ovalada o alargada, en general son de tamaño mayores en los cultivares de chiles dulces que en los chiles picantes (Pérez, 2002 citado por Arias & Duarte, 2006). El número de hojas es controlado por la temperatura y el genotipo, pero generalmente se desarrollan entre 8 y 15 hojas antes de la aparición de la primera flor, y la relación entre el número de hojas y flores es cercano a uno (Rylski, 1986 citado por Ayala, 2012).

Las flores están localizadas en los puntos donde se ramifica el tallo o axilas, encontrándose en número de una a cinco por cada ramificación. Generalmente, en las variedades de fruto grande se forma una sola flor por ramificación, y más de una en las de frutos pequeños (Orellana *et al.*, 2000 citado por Mejicano *et al.*, 2013).

El fruto es una baya, con dos a cuatro lóbulos, con una cavidad entre la placenta y el pericarpio del fruto (Arias & Duarte, 2006), siendo la parte aprovechable de la planta, tiene forma globosa, rectangular, cónica o redonda y tamaño variable, su color es verde al principio y luego cambia con la madurez a amarillo o rojo púrpura en algunas variedades (Mejicano *et al.*, 2013).

2.1.2. Requerimientos del cultivo

2.1.3.1. Climáticos

De acuerdo Padua *et al.*, (1984), citado por Arias & Duarte (2006), los factores ambientales más importantes que ejercen influencia en el crecimiento, desarrollo y producción del cultivar chile dulce, son la temperatura, fotoperiodo, intensidad de la luz y humedad relativa, dependiendo de la zona geográfica del país. Los rangos ideales de dichos factores se resumen a continuación en la Tabla 2.

2.1.3.2. Hídricos

Fersini (1978) y Fuentes (2005), citados por Mejicano *et al.*, (2013), afirman que en suelo se debe satisfacer una lámina de agua total entre 900 y 1,200 mm para el ciclo del cultivo desde el trasplante hasta el último corte comercial, en cambio de acuerdo a de la Cruz (2008), en hidroponía el volumen y el intervalo de riego dependen de la cantidad del sustrato y de su capacidad de almacenamiento de agua. Además, el mismo autor menciona que en estudios de Paschold y Zengerle (1990), las plantas que recibieron la mayor cantidad de agua y nutrimentos produjeron mayores rendimientos, con una variación entre 14 y 20 kg m² de chile bell al modificar el criterio para regar. La demanda de agua de chile bell fluctuó de 0.5 a 4.0 mm diarios, aplicándose 348 mm de agua en todo el ciclo.

2.1.3.3. Nutricionales

Chavarría & Villalobos (2011), reportan valores de absorción de nutrientes en chile dulce c.v Nathalie de: N 160.93 kg·ha⁻¹, P 18.44 kg·ha⁻¹, Ca 54.50 kg·ha⁻¹, Mg 20.54 kg·ha⁻¹ y K 225.47 kg·ha⁻¹ para obtener rendimientos promedio de 36.94 t ha⁻¹, en suelo y bajo condiciones de invernadero.

2.2. La Hidroponía

De acuerdo a Samperio (1999) citada por Rivera (2009), el término “hidroponía” procede de las palabras griegas hydros (agua) y ponos (cultivo, labor); significa trabajar en agua, de esta forma entendemos actualmente que la hidroponía estudia los cultivos sin tierra. La esencia de esta técnica no es moderna y por tal motivo es destacable que en la antigüedad ya se practicaban formas de cultivos similares; en China, India, Egipto (Rios, 2013).

Tabla 2. Condiciones climáticas adecuadas para el cultivo de chile

Condiciones climáticas ideales	
Temperatura	26 – 30 ° C
Humedad relativa	50 – 70 %
Precipitación pluvial	1,500 a 2,500 mm
Luminosidad	Exigente

Fuente: Gonzalez (2008).

Botero (2009) afirma que el concepto hidropónico se utiliza actualmente a tres niveles distintos: Cultivo hidropónico puro sería según Martínez y Mendoza (1993) y Botero (2009), aquel en el que, mediante un sistema adecuado de sujeción, la planta desarrolla sus raíces en medio líquido (agua con nutrientes disueltos) sin ningún tipo de sustrato sólido.

De acuerdo a la tendencia mayorista, es utilizado para referirse al cultivo en agua (acuicultura) o en sustratos sólidos más o menos inertes y porosos a través de los cuales se hace circular la disolución nutritiva (Botero, 2009).

En su aceptación más amplia, se ha considerado que dicho término puede abarcar todas las formas de cultivo sin tierra (Carrillos, 2002), en donde se suministra nutrición hídrica y la totalidad o parte de la nutrición mineral mediante una solución en la que van disueltos los diferentes nutrientes esenciales para su desarrollo (Alarcón, 2000 citado por Botero, 2009).

2.2.1. Importancia de la hidroponía

La hidroponía es una técnica que habilita cultivar sin suelo, es decir, las plantas crecen en diferentes sustratos o incluso solo sobre una película de agua (Intagri, 2017). Esta técnica también permite un uso más eficiente del agua y los nutrientes, lo cual es posible gracias a los suministros adecuados del requerimiento hídricos- nutricionales, a través del agua y solución nutritiva (Beltrano *et al*, 2015). Dicha técnica representa una opción para producir económicamente cultivos de alto valor, que pueden aumentar la génesis de divisas a través de la exportación de cultivos de alto valor producidos en mayor cantidad y con más calidad, propiciar una mayor ocupación de mano de obra no calificada en el campo y mejorar los ingresos de las familias campesinas (Cuervo, 2010), además asegura el mismo autor que la hidroponía puede contribuir a mantener un mejor ambiente, al evitar la contaminación y el

desperdicio de agua. Por otra parte, al hacer uso de sustratos se evitan plagas y enfermedades que sobreviven en el suelo (Agroquímica, 2014).

2.2.2. Ventajas y desventajas

Con respecto a las ventajas en los cultivos hidropónicos Bauxauli & Aguilar (2002) afirman que se obtiene una óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta, favoreciendo por tanto el desarrollo del cultivo además mencionan que la nutrición está mucho más controlada comparada con cultivos en suelo, puesto que no existen interacciones. Debido a que se emplea una solución nutritiva (Botero, 2009), directamente o aplicada a un sustrato totalmente inerte, sin actividad química, o sobre sustratos con una baja capacidad de intercambio catiónico (Bauxauli & Aguilar, 2002). También García (2007), asegura se da un buen control de pH, con facilidad para realizar muestras y ajustes. Así mismo Red hidroponía (2016); y Beltrano *et al* (2015), mencionan que existe un menor consumo de agua y de nutrientes, sin embargo, de acuerdo a Bauxauli & Aguilar (2002), dicho logro se alcanza en sistemas cerrados donde existe recirculación o donde se reutiliza el drenaje de la solución nutritiva, esto conlleva de acuerdo al mismo autor a evitar la contaminación de suelos y acuíferos. Beltrano *et al* (2015); Bauxauli & Aguilar (2002); García (2007), afirman que generalmente se puede obtener una mejor calidad de cultivo y por lo tanto del producto. Smither OASIS (Sf.), destaca que sin la limitante del suelo, puede producirse en cualquier sitio incluyendo los ambientes urbanos.

En cuanto a las desventajas, Red hidroponía (2016); García (2007); y Beltrano *et al* (2015), coinciden en el elevado costo de la inversión inicial. Por su parte, (Smither OASIS, Sf.), menciona que existe un desconocimiento de la técnica por parte de muchos productores.

2.2.3. Usos

Se puede cultivar hortalizas de hojas, de frutos o de raíz; cultivos que producen tubérculos, bulbos, tallos; plantas aromáticas, medicinales, ornamentales, flores (Red Hidroponía, 2016). También la hidroponía es muy usada para producir forraje verde hidropónico para alimentar animales de granja (Alvarez, 2012), además la hidroponía ha sido muy usada para la investigación en el campo de la nutrición mineral de las plantas (Red Hidroponía, 2016). Así mismo, puede ser usada como tecnología aplicada, que puede ser considerada como una alternativa eficaz, para ser integrada a la producción agrícola en zonas urbanas (Cruz y Campos, 2010).

2.2.4. Sustratos

En hidroponía, un sustrato es el medio de cultivo que reemplaza al suelo (Carrillos 2002), este puede ser natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla permite el anclaje del sistema radicular y el crecimiento del cultivo, pudiendo intervenir o no en la nutrición de la planta (Abad y Noguera, 2000 citados por Botero, 2009 y Aparicio, 2013). Según Cadahia (2000), citado por Guerrero (2008), los sustratos ideales deben tener elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, suficiente suministro de aire, elevada porosidad total, estructura estable que impida la contracción o hinchazón del sustrato, salinidad reducida, mínima velocidad de descomposición, libre de semillas de malas hierbas, patógenos y sustancias fitotóxicas, bajo costo, fácil de preparar, manejar y desinfectar.

2.2.4.1. Tipos de sustratos

Slowińska y Jaroszuk (2011), citados por Pérez (2013), categorizan a los sustratos por sus materiales constituyentes en monocomponentes y multicomponentes; dentro de los sustratos monocomponentes están: orgánicos, minerales o inorgánicos (Smither OASIS Sf.) y artificiales. En el caso de los multicomponentes afirma Pérez (2013), que son los sustratos hortícolas tradicionales producidos a partir de hojas, césped, compostas, vermicompostas, turbas y suelo estándar.

En lo referente a los sustratos orgánicos, inorgánicos y artificiales, se pueden clasificar dentro de los inorgánicos de acuerdo a Reyes (2009), a la piedra pómez, arena y escoria volcánica mientras que dentro de los artificiales se encuentran, destaca Beltrano *et al* (2015), la perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida entre otros. Por su parte entre los sustratos orgánicos están la cascarilla de arroz, aserrín, viruta de madera y fibra de coco (Rodríguez, 2002).

Desde el punto de vista ecológico asegura Kleiber *et al.*, (2012) citado por Pérez (2013), el empleo de sustratos orgánicos es más ventajoso porque son fácilmente biodegradables además pueden esparcirse sobre el terreno al terminar el ciclo del cultivo. Cabe destacar dentro de los sustratos orgánicos a la fibra de coco debido a que presenta características destacables.

Este sustrato se obtiene del pericarpio en el fruto del cocotero (Nieto 2009). Urrestarazu (2000), citado por Gastelum (2007), menciona que la fibra de coco tiene capacidad de retención de agua de hasta 3 ó 4 veces su peso, un pH ligeramente ácido (6.3-6.5) y una densidad aparente de 200 kg m^{-3} , su porosidad es buena. No obstante, Botero (2009), afirma que dado al origen en regiones costeras suele ser un material rico en sales, especialmente sodio y cloruros. Asimismo, destaca Botero (2009), que dichas sales deben ser retiradas, lo cual es una práctica relativamente fácil ya que estas no se encuentran fuertemente retenidas por el sustrato. Por tanto, se recomienda lavarlo mediante inmersión en agua antes de su uso (Urrestarazu, 2000 citado por Gastelum, 2007).

2.2.4.2. Características de los sustratos

De acuerdo a Gastelum (2007), las características a tomar en cuenta para elegir un sustrato adecuado o mezcla de sustratos (Rodríguez, 2002) son las físicas y químicas. En lo concerniente a las propiedades físicas según Pastor (1999); Pire & Pereida (2003), citados por Berrospe (2010), vienen determinadas por la estructura interna de las partículas, su granulometría y tipo de empaquetamiento, siendo las más destacadas: la densidad aparente, la distribución granulométrica, la porosidad, la aeración, la retención de humedad, la permeabilidad y distribución de tamaños de poros.

Con respecto a las propiedades químicas, caracterizan, asegura Rodríguez (2002), a las transferencias de materiales entre el sustrato y la solución; el mecanismo de intercambio de cationes se da entre los cationes absorbidos sobre las superficies cargadas y los cationes de la solución regulan en gran medida la disposición de nutrientes requeridos por la planta.

Contraria a las propiedades físicas de acuerdo a Pastor (1999); Vence (2008), citados por Pérez (2013), las propiedades químicas pueden ser alteradas o modificadas después del establecimiento; por ejemplo, el valor del pH, niveles nutrimentales, entre otros. Por tanto, destaca el mismo autor las propiedades físicas de los sustratos son las más importantes dado que una vez colocado el sustrato en un contenedor o bolsas es difícil que estas se modifiquen.

2.2.5. Soluciones nutritivas

La solución nutritiva es el agua con los nutrientes minerales esenciales disueltos en ella, en concentraciones y proporciones adecuadas para lograr un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas (Rodríguez, 2004 citado por Aparicio, 2013). Los nutrimentos esenciales para las

plantas incluyen 13 elementos minerales: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio, hierro, manganeso, boro, zinc, cobre, molibdeno y níquel (Cuervo, 2010).

Cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere solución nutritiva con características muy específicas. Las principales características que influyen en el crecimiento, desarrollo y calidad de los cultivos y sus productos de importancia económica son la relación mutua de los cationes K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , la relación mutua entre los aniones NO_3^- , $H_2PO_4^-$ y SO_4^{2-} , la concentración de iones (representada por el potencial osmótico) y el pH (Reyes, 2009), con respecto al potencial osmótico, una medida indirecta y empírica de dicho parámetro es la conductividad eléctrica, que sirve para indicar la concentración total de sales disueltas en el agua (Favela *et al*, 2006), en cuanto al pH, su valor apropiado en la solución nutritiva para el desarrollo de los cultivos se encuentra entre 5.5 y 6.5 (Rodríguez, 2002). Sin embargo, es importante destacar de acuerdo a Favela *et al* (2006), que el pH de la solución nutritiva no es estático, ya que depende del CO_2 en el ambiente, que la solución nutritiva se encuentre en un contenedor cubierto o descubierto, del ritmo de absorción nutrimental, de la fuente nitrogenada utilizada entre otros aspectos.

Ahora bien, es preciso mencionar que de acuerdo a Guerrero (2008), existen más de 300 fórmulas para preparar soluciones nutritivas, su composición química varía ampliamente, no obstante, el mismo autor afirma que Steiner en 1961 desarrolló un método universal para la preparación de soluciones nutritivas, la solución nutritiva Steiner, también llamada Universal. Dicha solución afirma Guerrero (2008), contiene 9, 4 y 7 meq·L⁻¹ de Ca^{2+} , Mg^+ y K^+ respectivamente y las concentraciones de aniones son 12, 1 y 7 meq·L⁻¹ de NO_3^- , $H_2PO_4^-$ y SO_4^{2-} , respectivamente.

2.2.6. Sistemas Hidropónicos

Existen diferentes tipos de sistemas hidropónicos, desde los más simples, con funcionamiento manual o semiautomático, hasta los más sofisticados y completamente automatizados (Red Hidroponía, 2016). Botero (2009), hace mención de dos grandes grupos de sistemas hidropónicos, abiertos, cuando los drenajes provenientes de la planta son desechados y cerrados, en los que la solución nutritiva se recircula aportando de forma más o menos continua los nutrientes que la planta va consumiendo. Mientras tanto Red Hidroponía (2016), divide a los sistemas hidropónicos en sistemas hidropónicos en agua y en sustrato o raíz en

medio solido o liquido de acuerdo con Aparicio (2013). A continuación, se detallarán cuatro sistemas, los dos primeros en medio líquido y los dos últimos corresponden a un medio sólido.

2.2.6.1. Recirculante ó NFT

El término NFT son las iniciales de Nutrient Film Technique (la técnica de la película nutriente) (García 2007; Ríos 2013; Red Hidroponía 2016), esta técnica de cultivo hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo (Resh 1987; Burrage 1992 citados por Gastelum 2007; Ríos 2013; Smither OASIS Sf.), sin pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye como un sistema cerrado (Guzmán 2004, Gutiérrez 2011).

2.2.6.2. Raíz Flotante

Es un sistema hidropónico por excelencia porque las raíces de las plantas están sumergidas parcialmente en solución nutritiva (Red Hidroponía 2016). Una placa de uniceal actúa como soporte mecánico, para la parte de follaje y de las raíces (Ríos 2013), además menciona Guzmán (2004) que la solución nutritiva debe ser aireada periódicamente para brindarle oxígeno a las raíces.

2.2.6.3. Aeropónico

Según Morgan (1999), citado por García (2007) y Aparicio (2013), en este sistema las raíces de las plantas se encuentran suspendidas en el aire y son alimentadas por la solución nutritiva en forma de neblina Aparicio (2013) además afirma que esta modalidad debe ser analizada teniendo en cuenta: disponibilidad de medios o sustratos, cantidades de agua, costos de montaje, especies a cultivar, disponibilidad de mano de obra, objetivo propuesto.

2.2.6.4. Riego por goteo

La solución nutritiva es suministrada a cada planta a través de goteros conectados en mangueras o cintas de goteo de polietileno de color negro (Red Hidroponía 2016), pequeñas cantidades de solución nutritiva son aplicadas al medio solido o sustrato donde se ubican las raíces. En lo relativo a Latinoamérica según Aparicio (2013), el riego por goteo es el sistema más empleado en hidroponía.

2.2.7. Sistemas Hidropónicos alternativos

Cuervo (2010), define a un sistema hidropónico alternativo a la producción intensiva en el cual se utiliza un sustrato o material inerte como soporte a la planta, cuya fuente de nutrimentos no es la solución nutritiva sino abonos orgánicos sólidos, en el mismo orden de ideas, es decir, usando fuentes de nutrimentos diferentes a las soluciones nutritivas normales y con el propósito de adaptar dicha tecnología (hidroponía) a realidades socioeconómicas y tecnológicas de cada país y productor, se pueden considerar como sistemas hidropónicos alternativos al propuesto por Ochoa *et al* (2009), dicho autor empleo una solución nutritiva a base de extracto de vermicomposta en la producción de lechuga, también Capulin *et al.*, (2001, 2005) afirma que el uso de extracto líquido de estiércol bovino (ELEB), puede reducir el uso de sales, porque contiene los nutrimentos para el desarrollo de las plantas y solamente requiere un complemento con nitrógeno, fósforo, calcio y azufre para obtener una solución nutritiva completa y balanceada.

2.2.7.1. Estiércol Bovino

Los estiércoles son una fuente importante de nutrimentos vegetales (Capulin *et al*; 2001). El estiércol como tal es la mezcla de la cama de los animales y sus deyecciones (sólidas y líquidas), que han sufrido fermentaciones más o menos avanzadas en el establo y después en el estercolero (Gros, 1986 citado por Cuervo, 2010). Básicamente están compuestos por partículas indigestibles de plantas, células microbianas y secreción endógena de los animales como metabolitos de la microflora del intestino (Medina, 2010), asimismo contiene gran número de oligoelementos y sustancias fisiológicamente activas como hormonas, vitaminas y antibióticos y mantiene una enorme población microbiana (Cuervo, 2010).

En cuanto al contenido total de nutrimentos en los estiércoles es muy variable afirma Trinidad (S/f) y depende de la especie que lo produce, edad del animal, su eficiencia digestiva, tipo de alimentación que recibe y el manejo a que ha sido sometido el estiércol desde su recolección, maduración y almacenamiento. Gros en (1986), citado por Cuervo (2010), reporta la composición media del estiércol (producto fresco con un contenido entre 20 y un 25% de peso seco) es del orden: N 4 kg, P₂O₅ 2.5 kg y K₂O 5.5 kg. Respecto a los demás elementos se indican los siguientes contenidos por tonelada: S 0.5 kg, Mg 2 kg, Ca 5 kg, Mn 30 a 50 g, B 4 g, Cu 2 g, por su parte Denahue (1983), citado por García (1994) reporta (% en base seca): 2 - 8 % N, 0.2 - 1 % P, 1 - 3 % K, 1.1 - 5 % Mg, 1 - 3 % Na y 6 - 15 % de sales solubles en el estiércol bovino.

2.2.7.2. Extracto líquido de estiércol bovino

Los estiércoles líquidos, comúnmente conocidos como purines (Capulin *et al*; 2005), entendiendo por purín de acuerdo a Sanz y Soret (2006), a la mezcla heterogénea de deyecciones sólidas y líquidas de los animales junto a restos de materiales utilizados en la alimentación del ganado. A esto se suma, dependiendo de situaciones particulares, agua procedente de los abrevaderos, aguas pluviales, aguas de limpieza, efluentes de ensilados; o según la metodología descrita por Capulin *et al.*, (2001) agregar agua al estiércol bovino fresco en relación 1:1 y separar la fracción líquida de la fracción sólida (<1 mm de diámetro) a lo que denominaron extracto líquido de estiércol bovino (ELEB).

En cuanto a la composición de los purines, son de caracteres líquidos o semi-sólidos, con un contenido importante de microorganismos y nutrientes (Candia, 2012), variando significativamente en función del manejo de la explotación: dieta, sistema de limpieza, tipo de estabulación, cama utilizada (Martínez S/f).

Estos materiales representan una alternativa ecológica para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos (Ochoa *et al*, 2009). De acuerdo con los razonamientos que se han venido realizando es preciso citar a Capulin *et al* (2001, 2005, 2007) que afirma con base a numerosos ensayos realizados con el extracto líquido de estiércol bovino, que:

“La fracción líquida del estiércol, usada como solución nutritiva, es una fuente importante de nutrimentos para las plantas en hidroponía.”

“Los estiércoles líquidos contienen los nutrimentos que una planta necesita para su desarrollo; sin embargo, requieren de un acondicionamiento previo para hacerlos accesibles a los cultivos hortícolas, ya que presentan salinidad alta y pH alcalino.”

“La utilización de los extractos líquidos de estiércol es una alternativa viable y económica, ya que se aprovecha un desecho que propicia el reciclamiento de nutrimentos en la producción agrícola.”

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización y periodo de ejecución

El estudio fue realizado en el Centro de Investigación y Practicas (CIP) del Departamento de Ciencias Agronómicas, de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Municipio de Santiago Nonualco, departamento de La Paz; Universidad de El Salvador, las coordenadas geográficas son 13°29'52.85" latitud norte y 88°56'14.97" longitud oeste; 800 m al sur de la antigua Carretera Litoral a la altura del km 48.5 en la calle que conduce a la Cooperativa Hoja de Sal.

El estudio se dividió en dos fases: laboratorio y campo.

La fase de laboratorio se ejecutó en el periodo comprendido entre el 12 de agosto al 02 de septiembre, en tanto que la fase de campo abarco desde el 05 de septiembre hasta el 23 de diciembre de 2016.

3.2. Condiciones edafoclimáticas

3.2.1 Características climáticas

La zona en la que se realizó el estudio corresponde, de acuerdo a SNET (Sf.) como sabana tropical caliente o de tierra caliente, elevación de (0-800 msnm), precipitación anual de 1242 mm, con temperatura media anual de 26.4° C y una humedad relativa de 76 %, con promedio de luz solar de 8.5 horas/día.

3.2.2. Características edáficas

Los suelos de la propiedad pertenecen al gran grupo regosol, son semejantes a los "ap" con lo que participan del mismo paisaje por estar en áreas más disecionadas el espesor de la ceniza es más variable, por lo general entre 50 a 100 cm, representa un 51 % del área total de la unidad. A causa de la topografía, son más variables en profundidad, peligro de erosión capacidad de producción y requieren mayor cuidado en la práctica cultural (Flamenco *et al*; 2008).

3.3. Fase de laboratorio

Consistió en obtener una muestra de ELEB de 1 L, para determinar sus componentes y formular los tratamientos.

3.3.1. Análisis químico de ELEB

Se realizó un proceso de caracterización química en húmedo del ELEB, en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y consistió en determinar el aporte nutricional del ELEB acidulado con ácido fosfórico (H_3PO_4) con pH de 5.5 y conductividad eléctrica de 2 dS m^{-1} .

3.4. Fase de campo

3.4.1. Elaboración de sustrato

Se fabricó sustrato de forma artesanal a base de fibra de coco (*Cocos nucifera*). El proceso de manufactura consistió en humedecer bagazo (estopas) de coco, luego se molieron con una picadora de forraje. A continuación, el material obtenido (fibra) fue colocado en agua durante 24 h, con el objetivo de diluir las concentraciones de sales que posee este material.

3.4.2. Preparación de casa malla

Previo al establecimiento del cultivo fue necesario acondicionar la instalación (casa malla), para ello se colocó plástico negro de polietileno sobre la superficie donde se estableció cada tratamiento, la cual se desinfectó, tres días antes del trasplante, con hipoclorito de sodio disuelto en agua (10 ml/L).

3.4.3. Elaboración de ELEB

Se elaboraron 124 L de ELEB según la metodología descrita por Capulin *et al* (2001), la cual consiste en mezclar el estiércol bovino fresco en agua, en relación 1:1 y luego pasarla, a presión, por un tamiz de 1 mm de abertura.

Para obtener los 124 L de ELEB, se mezclaron 86 kg de estiércol bovino, generado por el ganado bovino del Centro de Investigaciones y Prácticas (CIP) y 86 L de agua, con 4.14 dS m^{-1} C.E y pH de 8.14, acidulado con 410 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4), para bajar el pH hasta valores de 5.5 – 6.0.

3.4.4. Formulación de tratamientos

Se definieron tres tratamientos:

- T_0 : Solución nutritiva Steiner.

- T_U: ELEB acidulado con ácido fosfórico (H₃PO₄) y complementado con urea y con nitrato de magnesio
- T_{Mg}: ELEB acidulado con H₃PO₄ y complementado con nitrato de magnesio. Cada tratamiento presento valores de CE 1.5 dS m⁻¹ y pH 5.5 – 6.0.

3.4.5. Establecimiento del cultivo

3.4.5.1. Semillero

El semillero se dispuso en una bandeja de polietileno de 162 celdas, se utilizó sustrato comercial “peat-moss”, cuarenta días previos al establecimiento del cultivo. Se aplicó solución nutritiva Steiner al 25% como fuente de nutrientes. Se utilizó la variedad de chile dulce “Nathalie” y se consideró el 1 % de perdida en la germinación.

3.4.5.2. Trasplante

El trasplante se realizó cuando las plántulas alcanzaron 40 días de edad, humedeciendo el pilón de estas, en una solución enraizadora, para favorecer el desarrollo radicular, aplicando 80 ml de la solución por planta, con una concentración de N 450 ppm, P 2250 ppm, K 550 ppm, Mg 30 ppm, S 39 ppm y 400 ppm de bioestimulantes. Sobre un sustrato de fibra de coco.

3.4.5.3. Distribución de los tratamientos.

Cada tratamiento se configuro a doble hilera y cada hilera estuvo constituida por doce plantas, su distribución se realizó con base en un sorteo, el cual determino que quedarán asignados de acuerdo al siguiente orden: T_U, T₀ y T_{Mg} (Figura 1).

3.4.6. Manejo del cultivo

3.4.6.1. Riego

Fueron aplicados dos riegos manuales por día, en horas de menor incidencia solar. El volumen de riego incremento de acuerdo al desarrollo del cultivo (Tabla 3).

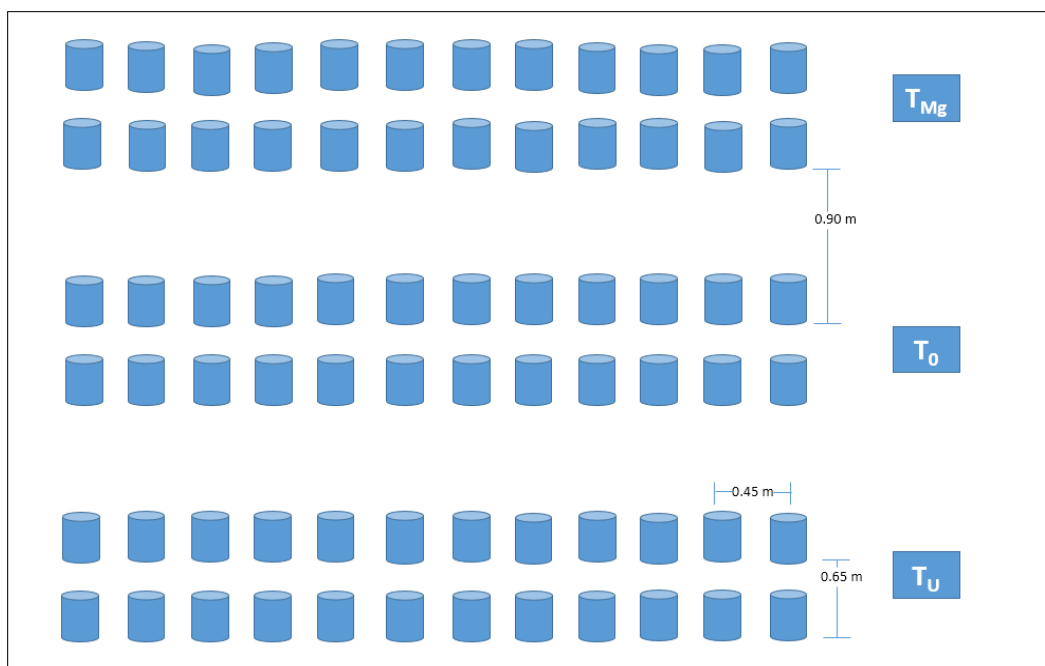


Figura 1. Esquema de diseño experimental completamente al azar

Tabla 3. Volúmenes de riego (L) por aplicación, diaria y semanal

N° de semana	Por aplicación	L/Planta	
		Diaria	Semanal
1	0.15	0.3	1.8
2	0.15	0.3	1.8
3	0.15	0.3	1.8
4	0.2	0.4	2.4
5	0.2	0.4	2.4
6	0.25	0.5	3
7	0.25	0.5	3
8	0.3	0.6	3.6
9	0.3	0.6	3.6
10	0.35	0.7	4.2
11	0.35	0.7	4.2
12	0.4	0.8	4.8
13	0.4	0.8	4.8
14	0.45	0.9	5.4
15	0.45	0.9	5.4

3.4.6.2. Manejo de plagas y enfermedades

El monitoreo constante facilitó el combate de plagas, por ende, el uso de agro tóxicos se redujo. Se hicieron presentes ácaros, cuya especie (s) no se determinó, así como *Frankliniella*

occidentalis y *Spodoptera latifacia*, en el caso de *Spodoptera* se manejó mediante la aplicación de medidas de control cultural- mecánico, en tanto que para ácaros y trips se recurrió al uso de plaguicidas (Clofentezine: 3,6 bis (2-clorofenil)-1,2,4,5 tetrazina) de forma eventual.

3.4.6.3. Tutoreo

A los 45 días después del trasplante (ddt), se colocaron tutores de varas de bambú con una longitud de 3 m, uno cada 1.8 m. así como fibra agrícola (pita) a 0.25 m, como soporte, de forma paralela a medida aumentaba la altura de las plantas, para mantenerlas erguidas.

3.4.6.4. Cosecha

Los parámetros tomados en cuenta para realizar la cosecha fueron los siguientes:

- Consistencia del fruto
- Firmeza del pericarpio
- Color verde intenso del pericarpio

La primera cosecha se obtuvo a los 71 ddt del cultivo, posteriormente se realizaron cortes cada ocho días.

3.4.7. Preparación de soluciones concentradas y nutritivas

Además de las actividades de manejo agronómico del cultivo se prepararon soluciones madres (concentradas), con elevada concentración de nutrientes, a partir de estas se elaboraron las soluciones nutritivas para cada tratamiento estudiado durante el ensayo.

3.4.7.1. Soluciones concentradas

Se prepararon soluciones concentradas de $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, CH_4N_2O , macro y micro elementos, para cada uno de los tratamientos (Tabla A-1). Las soluciones concentradas para T_U y T_{Mg} fueron preparadas para 100 L de agua respectivamente. Mientras que para T_0 se prepararon soluciones concentradas para 1248 L, esto debido al grado de solubilidad que presentan las fuentes de nutrientes. Las concentraciones de nutrientes que aportan los fertilizantes en mg/L para cada tratamiento se presentan en (Tabla A-2).

3.4.7.2. Soluciones nutritivas

Para preparar 20 L de solución nutritiva T_U y T_{Mg} a una CE de 1.2 y 1.5 $dS\ m^{-1}$ y con un pH de 5.5 – 6.0 se necesitaron los ingredientes en las cantidades que se muestran en la Tabla A-3.

Las soluciones nutritivas a base de ELEB, se preparaban semanalmente, la frecuencia de preparación varía de acuerdo al volumen usado por etapa fenológica. En el caso de T₀ las fuentes de nutrimentos utilizados para su preparación se muestran en la Tabla A-4.

3.5. Metodología Estadística

El diseño utilizado fue el completamente al azar, con 6 repeticiones y 4 plantas por unidad experimental. Para el análisis de resultados fueron utilizados los paquetes estadísticos SPSS y PSPP. Que comprendió hacer un análisis de varianza (ANDEVA) para todas las variables, con un 95 % de confianza y una prueba de rango múltiple Duncan en las variables que presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, a los parámetros altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo, se aplicó un análisis de regresión lineal para observar el comportamiento en lo referente al incremento por día de cada una de esas variables por tratamiento.

3.6. Variables a evaluar

Numero de frutos, altura de la planta, diámetro del tallo, numero de hojas, longitud del fruto, peso del fruto.

Los datos fueron tomados cada quince días, para un total de 6 muestreos durante la fase experimental. Conviene añadir que, durante el desarrollo de la planta, se midió su crecimiento, desde la superficie del sustrato hasta el ápice, así como el diámetro del tallo y el número de hojas por tratamiento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestran y discuten, en primera instancia, los resultados de la fase de laboratorio. Posteriormente, los resultados de las variables en estudio del cultivo.

4.1. Resultados a nivel de laboratorio

4.1.1. Caracterización de ELEB

Es importante destacar que la caracterización química en húmedo fue realizada a una muestra de 1 L de ELEB con C.E. de $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, antes de establecer el ensayo. Al conocer los resultados se optó por reducir la C.E. a $1.2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en las etapas iniciales del cultivo y $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en adelante, debido a que la concentración de sales a una C.E. de $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ superó por mucho los requerimientos del cultivo. Los resultados de dicha caracterización se muestran en (Tabla 4).

Es necesario considerar de acuerdo a Trinidad (S/f), que el contenido total de nutrimentos en los estiércoles es variable y depende de la especie que lo produce, edad del animal, su eficiencia digestiva, tipo de alimentación que recibe y el manejo a que ha sido sometido el estiércol desde su recolección, maduración y almacenamiento. Bajo este contexto, se realizó una caracterización a una muestra de ELEB madre de N, P, K, Ca y Fe; cuyos resultados muestran un alto contenido de P, K y Ca con respecto al requerimiento del cultivo. En el caso del contenido de fósforo, este mostró valores elevados, debido a que se usó ácido fosfórico para acidular el ELEB madre. En lo referente al potasio, Simpson (1986) citado por Capulin *et al* (2001), mencionan que dicho elemento no forma parte de compuestos orgánicos y su mayor concentración se encuentra en la orina, por lo que es altamente soluble, lo cual explica el alto contenido observado.

Tabla 4. Contenido nutrimental del ELEB acidulado con H_3PO_4

Elemento	%	ppm
N	0.030000	
P	0.033600	336.00
K	0.045600	456.00
Ca	0.026000	260.00
Fe	0.000329	3.29

El mismo autor asegura que al hacer uso de ácidos inorgánicos como el fosfórico y el nítrico, estos al entrar en contacto con material orgánico lo destruyen, facilitando su solubilización, liberando elementos que contiene el material orgánico, además al reducir el pH también aumenta la solubilidad de algunos elementos, ello explica los contenidos encontrados de Fe y Ca en la muestra de ELEB madre.

Por otra parte, el nitrógeno fue el nutriente encontrado en menor cantidad en la muestra de ELEB, lo cual coincide con resultados obtenidos por Capulin *et al* (2005), en este tipo de soluciones.

4.2. Resultados a nivel de campo

Para los resultados que contemplaron el desarrollo vegetativo, es decir: número de hojas, altura de plantas y diámetro de tallo; se realizó un análisis de regresión lineal, el cual mostró que todas las variables de P-Valor fueron menores a 0.05 (Tablas A-5, A-6, A-7), por tanto, existió linealidad en los incrementos diarios de número de hojas, altura de plantas y diámetro de tallo.

4.2.1. Numero de hojas

El mayor número de hojas (194) en la última toma de datos (100 ddt) lo presentaron las plantas tratadas con la solución Steiner (T_0) y el menor número (111) las sometidas con solución a base de ELEB complementada con urea más nitrato de magnesio (T_U). Respecto al incremento diario de número de hojas, existió diferencia significativa entre tratamientos (Tabla A-8). El que presentó mayor incremento promedio diario fue T_0 , como se observa en la Tabla 5. Seguido por T_{Mg} , mientras que el tratamiento con menor incremento fue T_U .

El tratamiento T_0 se caracteriza por contener 12 elementos diferentes en las proporciones adecuadas, es decir posee el mejor balance nutricional, lo que probablemente facilite un mejor almacenamiento y su uso en los momentos idóneos, por parte de la planta y en consecuencia incide en mayor producción de hojas, las cuales son el componente de mayor almacenaje de nutrientes y las más activas metabólicamente (Bargali y Sing, 1991, citados por Bonomelli *et al.*, 2002).

Tabla 5. Incremento promedio diario en número de hojas del cultivo de chile

Tratamientos	N	Media
T ₀	6	2.52 a
T _{Mg}	6	1.8 b
T _U	6	1.65 b

Conviene mencionar, que hasta el tercer muestreo (52 ddt) fecha que coincide con el inicio de la etapa de floración, fue T_{Mg} el tratamiento que presentó mejores promedios de número de hojas, esto puede atribuirse de acuerdo a Capulin *et al* (2007) a que las soluciones nutritivas a base de ELEB aciduladas, contienen todos los elementos nutritivos esenciales para el desarrollo de las plantas. Sin embargo, el nitrato, el sulfato y el hierro se encuentran en cantidades insuficientes, pero al complementar la solución con fuentes inorgánicas, como es el caso de nitrato de magnesio puede obtenerse soluciones más completas, lo cual explica el comportamiento de las plantas tratadas con la solución a base de ELEB más nitrato de magnesio (T_{Mg}), ya que él es el componente principal de la clorofila e interviene en la síntesis de carbohidratos (Molina, 2000).

Luego de los 52 (ddt) , justamente con el inicio de la etapa de floración, fue el tratamiento testigo, en donde se observó mayor cantidad de hojas, es decir, prevaleció sobre T_{Mg}, esta condición pudo deberse, tal como se ha mencionado, a la existencia de un mejor balance nutricional en la solución Steiner y a que una planta en floración requiere de varios elementos nutritivos que conlleven a una mayor cantidad de hojas, lo cual repercute en una eficiente o abundante fructificación (Chavarría y Villalobos 2011).

4.2.2. Altura de plantas

La altura promedio al trasplante fue de 16 cm. La altura máxima (107.5 cm) se obtuvo en las plantas del tratamiento testigo (Solución Steiner), y la mínima (73.25 cm) en T_U (ELEB complementado con urea más nitrato de magnesio), respecto al crecimiento promedio diario de las plantas, existió diferencia significativa entre tratamientos (Tabla A-9). Destaco T₀, con la mayor tasa de crecimiento promedio diaria. El tratamiento que presentó menor ganancia promedio diario en altura fue T_U (Tabla 6).

Tabla 6. Crecimiento promedio diario del cultivo de chile

Tratamientos	N	Media
T ₀	6	1.12 a
T _{Mg}	6	0.91 b
T _U	6	0.76 c

Hasta los 45 ddt también existió mayor ganancia de altura en el tratamiento T_{Mg}. Resultados similares obtuvo Capulin *et al.*, (2011) en tomate, donde no existió diferencia significativa en altura de plantas, hasta los 43 ddt, regadas con soluciones nutritivas a base de ELEB, pero complementadas con nitrato de calcio, sulfato de magnesio, sulfato de potasio, quelato de hierro contrastadas con una solución nutritiva Steiner. Esto sugiere que la solución nutritiva a base de ELEB complementada con nitrato de magnesio cumplió satisfactoriamente con los requerimientos nutricionales del cultivo hasta dicha etapa. En lo concerniente al tratamiento a base de ELEB más urea (N-total 75 % en forma de N- NH₄⁺), más nitrato de magnesio (N-total 25 % en forma de N-NO₃⁻), la menor ganancia en altura obtenida por las plantas tratadas con dicha solución se puede atribuir a que el mayor porcentaje de nitrógeno está en forma de amonio, el cual de acuerdo a Jones (1997) citado por Ortiz (2015) no debe exceder del 50 % del total, por su parte (Kirby y Menguel 1968) citados por Juárez (2010) agregan que las plantas abastecidas con N-NH₄⁺ generalmente no crecen tan bien.

4.2.3. Diámetro de tallo

En la última toma de datos (100 ddt), el diámetro máximo de tallo (0.92 cm) fue observado en las plantas donde se empleó la solución Steiner (T₀), en tanto que el menor (0.72 cm) correspondió a las plantas del tratamiento a base de ELEB con Urea más Nitrato de Magnesio.

Al realizar análisis de varianza a los datos obtenidos de la regresión lineal, los resultados demuestran que no existió diferencia significativa entre tratamientos (Tabla A-10), respecto al incremento diario de diámetro tallo. Hasta la tercera toma de datos no se observó superioridad en las plantas de ningún tratamiento. Es a partir de la cuarta toma de datos (68 ddt) que pudo observarse una leve superioridad en el diámetro de tallo, en las plantas tratadas con el tratamiento testigo, fechas que coinciden con la primera cosecha, es importante, en este

aspecto mencionar que de la Cruz (2008), asegura que el diámetro de tallo depende de la concentración de nutrientes en la solución nutritiva, por lo que debe recordarse que la solución Steiner presenta un mejor balance nutricional que las demás soluciones sometidas al estudio.

A partir de los 60 ddt pudo evidenciarse una marcada tendencia de superioridad en el tratamiento testigo T_O respecto a T_{Mg} y T_U . Esto se explica, de acuerdo a Steiner (1961) citado por de la Cruz (2008), por qué las principales características en una solución nutritiva que influyen en el crecimiento, desarrollo, calidad de los cultivos y sus productos de importancia económica son: relación mutua de cationes-aniones, CE y pH, requisitos que justamente se cumplen en una solución nutritiva Steiner, en la cual cada uno de sus elementos se encuentran debidamente balanceados. No es el caso de una solución nutritiva a base ELEB, la cual por ser de origen natural, difiere en cuanto a concentración y balanceo que contiene la solución Steiner. En este sentido, aunque los tratamientos a base de ELEB, complementados con Nitrato de Magnesio y Urea presentasen la misma CE y pH que el testigo, varían en cuanto a relación mutua cationes-aniones. Además cabe mencionar que el Tratamiento T_U , presentó inestabilidad respecto a su pH, es decir tendía a alcalinizarse en menos tiempo que las demás soluciones nutritivas (T_{Mg} y T_O) lo que condujo a una menor disponibilidad de elementos necesarios para el desarrollo adecuado de la plantas, y que a su vez probablemente ocasiono un menor crecimiento en cuanto a altura y un menor número de hojas en T_U .

En términos generales, respecto a las ganancias promedio diarias de las variables de desarrollo vegetativo en las plantas o variables morfométricas, fue el tratamiento testigo el que presentó mejores resultados, debido a que de acuerdo a Steiner (1966) citado por Guerrero (2008); la solución Steiner o universal, está basada en el análisis de la concentración de elementos encontrada comúnmente en las plantas.

4.3. Desarrollo productivo

Para el análisis de estas variables fueron realizadas seis cosechas, una por semana, de las cuales se obtuvieron promedios por repetición, del total de número de fruto, peso y longitud de estos, a dichos resultados fue aplicada un análisis de varianza (ANDEVA) y una prueba de medias Duncan. Los resultados de los análisis muestran que existió diferencia significativa entre tratamientos, en las tres variables evaluadas de desarrollo productivo (Tabla A-11, A-12, A-13).

4.3.1. Número de frutos

El tratamiento con mayor número de frutos fue T_U (Tabla 7). Sin embargo, presento plantas generativas, es decir, con escaso desarrollo vegetativo. Al respecto, Nederhoff (2009), explica que este tipo de plantas se concentran en la producción de semillas, como una medida de supervivencia frente a condiciones desfavorables. En el caso del tratamiento T_U , las condiciones desfavorables fueron causadas probablemente por características propias de la solución nutritiva a base de ELEB complementada con Urea más Nitrato de Magnesio, es decir, inestabilidad en cuanto a su pH y en consecuencia baja disponibilidad de algunos nutrientes a las plantas. En este sentido, la planta respondió con una alta producción de frutos, y por lo tanto, de semillas, pero los frutos con bajo peso y menor longitud y semillas normales a los parámetros observados en el resto de tratamientos. En cuanto al tratamiento T_{Mg} , no presento diferencia significativa respecto a número de frutos al compararlo con el tratamiento testigo.

4.3.2. Peso de fruto

Ahora bien, en cuanto a peso de fruto el tratamiento a base de ELEB complementado con urea más nitrato de magnesio (T_U) fue el menos destacado (Tabla 8), debido a que mostró mayor número de frutos y un desarrollo vegetativo deficiente, lo que indujo a que estos presentasen poca ganancia de peso. Respecto a T_{Mg} , produjo frutos con pesos promedios superiores a T_U , aunque no hubo diferencias significativas entre estos tratamientos.

Tabla 7. Numero promedio de frutos de los tratamientos evaluados

Tratamientos	N	Medias
T_U	6	6.55 ^a
T_{Mg}	6	6.05 ^b
T_0	6	6.00 ^b

Tabla 8. Medias de peso de fruto (g) para los tratamientos evaluados

Tratamientos	N	Medias
T_0	6	48.18 ^a
T_{Mg}	6	43.81 ^b
T_U	6	40.70 ^b

El tratamiento que presentó mayores pesos de fruto fue T₀. Este mejor desempeño del T₀, en cuanto a peso está en concordancia con el mejoramiento de las variables de desarrollo vegetativo que mostraron las plantas sometidas con este tratamiento a medida que avanzaban los días después del trasplante, esto coincide con lo que afirman Peil y Gálvez (2005), Xu *et al* (2001) citados por de la Cruz (2008), quienes aseguran que el número de hojas influye en el rendimiento de frutos, dado que la producción de fotosintatos y su posterior envío hacia los frutos depende de la eficiencia fotosintética de la planta, la cual está sustentada en el mantenimiento del crecimiento vegetativo vigoroso, en el que el número de hojas es parte fundamental, al igual que el diámetro de tallo debido a que este garantiza que la planta soporte el peso de los frutos.

En lo referente a los menores pesos de frutos obtenidos con la solución nutritiva (T_U), estuvo relacionado con el escaso desarrollo vegetativo que presentaron las plantas tratadas con dicho tratamiento. Esto a su vez se puede asociar con la fuente nitrogenada (urea) que fue empleada para complementar la deficiencia de Nitrógeno en la soluciones a base de ELEB, ya que está causó un desbalance en la solución, volviendo determinados elementos inaccesibles a las plantas.

4.3.3. Longitud de fruto

La longitud de frutos presentó comportamientos paralelos a los obtenidos en la variable peso de frutos, también existieron diferencias significativas entre los tratamientos, destacando los frutos del tratamiento testigo (Tabla 9.), los frutos que presentaron menores longitudes fueron los cosechados de las plantas tratadas con la solución nutritiva a base de ELEB complementado con urea más nitrato de magnesio (T_U). Estos resultados permiten suponer que a medida que la planta completa su desarrollo absorben de una mejor manera los nutrientes de la solución nutritiva Steiner, la cual constituye tal como se mencionó una solución debidamente balanceada en cuanto a nutrientes que requiere la planta.

4.4. Análisis económico y ecológico

Se realizó con la finalidad de determinar cuál de los tratamientos evaluados brindó mayor rentabilidad, para ello se obtuvieron los costos de producción (CTP) (Tabla 10), el ingreso bruto (IB) (Tabla 11), el ingreso neto (IN) y fue calculada la rentabilidad (R) con el modelo matemático de Soberanis (2002), citado por García (2007).

Tabla 9. Medias de longitud de fruto (cm) para los tratamientos evaluados

Tratamientos	N	Medias
T ₀	6	9.95a
T _{Mg}	6	8.90b
T _U	6	8.13c

Tabla 10. Costos totales de producción por tratamiento

Concepto	T0	TU	TMg
Mano de obra	8.00	8.00	8.00
Plántulas	2.40	2.40	2.40
Ácido Fosfórico	0.83	1.62	1.14
ELEB			
Fertilizantes			
Nitrato de Calcio	0.87		
Nitrato de Potasio	0.24		
Nitrato de Magnesio	0.00	0.42	1.66
Fosfato			
Monopotásico	0.33		
Sulfato de Magnesio	0.17		
Sulfato de Potasio	0.28		
Urea	0.00	0.33	
Ácido Bórico	0.01		
Molibdato de Sodio	0.05		
Sulfato de			
Manganeso	0.01		
Sulfato de Cobre	0.01		
Sulfato de Zinc	0.01		
Sulfato de Hierro	0.05		
Total (\$)	13.26	12.77	13.16

Tabla 11. Ingresos brutos por tratamiento

Tratamientos	Unidades Producidas (Cientos·ha)	Precio Ciento (\$)	IB (\$)
TO	2170	9	19530.00
TMg	2180	8	17440.00
TU	2360	7	16520.00

Los resultados del análisis económico muestran que el tratamiento con mayor rentabilidad fue T₀ (Tabla 12) y el tratamiento con menor rentabilidad fue T_U.

Tabla 12. Análisis económico de los tratamientos evaluados

Tratamiento	Rendimiento (Kg-ha)	CTP	IB	IN	Rentabilidad (%)
T _O	1730.00	13260.00	19530.00	6270.00	47.28
T _U	1460.00	12770.00	16520.00	3750.00	29.36
T _{Mg}	1580.00	13160.00	17449.00	4289.00	32.59

También fue T_O el tratamiento con mayores costos totales de producción, dicha inversión fue recompensada por la calidad (tamaño) de fruto obtenida y su venta a mejor precio. T_U fue el tratamiento que requirió menor inversión. T_{Mg} necesito una inversión mayor a T_U, pero su rentabilidad fue superior a dicho tratamiento, ya que la calidad de fruto fue considerablemente mejor a la obtenida con las plantas sometidas al tratamiento T_U.

Por otra parte se analizó los beneficios que el uso de soluciones nutritivas a base de ELEB genera al medio ambiente. Bajo este contexto, los tratamientos T_U y T_{Mg} representan soluciones nutritivas más viables ecológicamente, al compararlas con T_O, debido a que las primeras están preparadas a base ELEB, fomentando el reciclaje de nutrientes a partir de fuentes orgánicas, aciduladas y complementadas con urea y nitrato de magnesio, mientras que T_O requiere el empleo total de fertilizantes sintéticos, por lo que su uso implica riesgo de contaminación al suelo y agua.

V. CONCLUSIONES

1. T_0 (solución nutritiva Steiner), supero a T_U (solución nutritiva a base de ELEB acidulada y complementada con urea más nitrato de magnesio) y T_{Mg} (solución nutritiva a base de ELEB aciduladas y complementadas con nitrato de magnesio), tanto en ganancias promedio diarias de las variables de desarrollo vegetativo como en rendimiento de fruto ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), debido a que a medida que la planta completo su desarrollo absorbió de una mejor manera los nutrientes dado que dicha solución presenta un adecuado balanceo de nutrientes que requiere la planta.
2. En términos económicos T_0 implica mayores costos totales de producción. Sin embargo, es el más rentable, gracias al tamaño de su fruto que permite vender a un precio mayor, si se lo compara con los frutos obtenidos con T_U y T_{Mg} .
3. El uso de soluciones nutritivas a base de ELEB aciduladas y complementadas con nitrato de magnesio y urea, más nitrato de magnesio, constituyen alternativas amigables con el medio ambiente y representan menores costos de producción, por lo que, a mediano o largo plazo, constituyen alternativas viables económicamente, ya que garantizan la sostenibilidad del suelo y agua , es decir, suponen no invertir en enmiendas que corrijan daños ocasionados a dichos recursos naturales por el empleo exclusivo de fertilizantes sintéticos.

VI. RECOMENDACIONES

1. En cultivo de chile dulce hacer uso de una conductividad eléctrica relativamente baja $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, cuando se emplean soluciones nutritivas a base de fuentes orgánicas como ELEB.
2. Utilizar ácido nítrico como acidulante de ELEB, o usar como fuente de nitrógeno al nitrato de amonio debido al bajo contenido de nitrógeno que contienen los ELEB comúnmente.
3. Realizar investigaciones en el área de cultivos hidropónicos, en lo referente a sustratos y soluciones nutritivas a base de fuentes orgánicas.
4. Diseñar sistemas hidropónicos cerrados que se ajusten a las condiciones de los productores de hortalizas, cuando se emplea soluciones nutritivas a base de fertilizantes inorgánicos, para lograr un uso eficiente del recurso agua y fertilizantes.

VII. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Agroquímica, 2014. Agricultura hidropónica. (en línea). Consultado 1 jul. 2017. Disponible en <http://www.agroquimica.es/media/multimedia/ficheros/46.pdf#page=10>
- Alvarez Vigoria, F. 2012. Producción de forraje verde hidropónico. Una alternativa para la alimentación de animales en periodos de carencia de pastos. (en línea). Consultado 1 jul. 2017. Disponible en <http://repositorio.solucionespracticas.org.pe:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/255/PRODUCCIONFORRAJE.pdf?sequence=1>
- Aparicio del Moral, JO. 2013. Producción de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en hidroponía bajo invernadero: una opción productiva para los espacios periurbanos. Tesis M.Sc. Puebla, MX: Colegio de Postgraduados. Campus Puebla. 116 p.
- Arias Rivera, OU., Duarte Rivas, CA. 2006. Determinación de las dosis efectivas del biopreparado *Trichoderma* (*koningii* y *harzianum*) sobre *Sclerotium rolfsii* causante del mal del talluelo en chile dulce (*Capsicum annuum*) en época lluviosa. Tesis Ing. Agr. San Salvador, SV: Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Protección Vegetal. 67 p.
- Ayala Villegas, MJ. 2012. Análisis del crecimiento y calidad de semillas de tres tipos de chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis M.Sc. Montecillo, MX: Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. 81 p.
- Baixauli Soria, C; Aguilar Olivert, JM., 2002. Cultivo sin suelo de Hortalizas. Aspectos Prácticos y Experiencias. (en línea). Consultado 17 oct. 2016. Disponible en <https://es.slideshare.net/lilamorillos/cultivo-sinsuelodehortalizas>
- Beltrano, J; Giménez, D; Ruscitti, M; Carbone, A; Andreau, R; Vasicek, A; Ronco, B; Martínez, S; Garbi, M., 2015. Cultivo en Hidroponía. Buenos Aires, AR, Editorial de la Universidad de La Plata. 182 p.

- Berrospe Ochoa, EA. 2010. Sustratos Alternativos a base de cachaza para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.). Tesis M.Sc. Montecillo, MX: Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. 139 p.
- Bonomelli, C., Peña, I., Suarez, D. 2002. Contribución de las hojas en el proceso de reciclaje de N y P en *Eucalyptus* sp. (en línea). Bosque. 23(1): 61-79. Consultado 24 abr. 2017. Disponible en <https://books.google.com.sv/books?id=eNJWrAnEpv8C>
- Botero Coy, JF. 2009. Formulación de alternativas técnicas para la reutilización de soluciones fertilizadas en cultivo de flores, aminorando impactos ambientales. Tesis Ing. Amb. Bucaramanga, CO: Universidad Industrial de Santander. Esc. de Ingeniería Química. Especialización de Ingeniería Ambiental. 66 p.
- Candia Avello, OI. 2012. Efecto de la aplicación de purines de origen bovino sobre la disipación de dimetenamida en suelos utilizados para el cultivo de maíz forrajero. Tesis Ph.D. Temuco, CL: Universidad de La Frontera. Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración. Departamento de Ciencias Químicas. 94 p.
- Capulín Grande, J., Mohedano Caballero, L., Sandoval Estrada, M., Capulín Valencia JC. 2011. Estiercol bovino líquido y fertilizantes inorgánicos en el rendimiento de jitomate en un sistema hidropónico. (en línea). Chapingo serie hortícola 17(2): 105-114. Consultado 04 ene. 2016. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60920970003>
- Capulín Grande, J., Núñez Escobar, R., Aguilar Acuña, JL., Estrada Botello, M., Sánchez García, P., Mateo Sánchez, JJ. 2007. Uso de estiércol líquido de bovino acidulado en la producción de pimiento morrón. (en línea). Revista Chapingo: Serie Horticultura. 13(1): 5 – 11. Consultado 21 abr. 2016. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60913103>
- Capulín Grande, J., Núñez Escobar, R., Etchevers Barra, JD., Baca Castillo, GA. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en Hidroponía. (en línea). Agrociencia. 35(3): 287-299. Consultado 04 dic. 2015. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30200304>

- Capulín Grande, J., Núñez Escobar, R., Sánchez García, P., Martínez Garza, Á., Soto Hernández, M. 2005. Producción de jitomate con estiércol líquido de bovino, acidulado con ácidos orgánicos e inorgánicos. (en línea). Terra Latinoamérica. 23(2): 241-247. Consultado 05 ene. 2016. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57323211>
- Carrillos Romero, C. 2002. Evaluación de tres densidades y dos arreglos espaciales en producción orgánica hidropónica de apio (*Apium graveolens* L.). Tesis Ing. Agr. San Salvador, SV: Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Fitotecnia. 141 p.
- Chamú Baranda, JA. 2010. Respuesta del pimiento morrón al secado parcial de la raíz y sustratos en hidroponía e invernadero. Tesis M.Sc. Montecillo, MX: Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. 164 p. (Postgrado en Hidrociencias).
- Chavarría Vidal, AE., Villalobos Araya, M. 2011. Determinación de la eficiencia de tres fuentes fertilizantes en diferentes dosis sobre la producción de chile dulce y sus curvas de absorción, para Nathalie en invernadero, en Cartago, Costa Rica. (en línea). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Vicerrectoría de Investigación y Extensión. Esc. Ingeniería Agrícola. Consultado 05 ago. 2016. Disponible en <http://hdl.handle.net/2238/5783> (Proyecto de investigación).
- Cornejo Rivera, MC., Valladares Alemán, JR., Hernández, AM. 2014. Comportamiento de la producción del cultivo de chile dulce (*Capsicum annum*) aplicando diferentes dosis de lombriabono en combinación con harina de roca, en el cantón San José La labor, Municipio de San Sebastián, departamento de San Vicente, año 2013. Tesis Ing. Agr. San Vicente, SV: Universidad de El Salvador. Facultad Paracentral. Departamento de Ciencias Agronomicas. 78 p.
- Cruz Celis, F., Campos, H. 2010. La hidroponía como proyectos emprendedores de tecnología aplicada para darle sustentabilidad a la agricultura urbana. (en línea). Consultado 1 jul. Disponible en http://www.aepro.com/files/congresos/2010madrid/ciip10_0943_0953.2819.pdf

- Cuervo Osorio, VD. 2010. Abonos orgánicos como insumo de nutrición vegetal en un sistema hidropónico alternativo. Tesis M.Sc. Montecillo, MX: Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. 68 p. (Postgrado de Edafología).
- de la Cruz Tun Dzul, J. 2008. Requerimiento nutricionales de chile poblano (*Capsicum annuum* L.), y su relación con el rendimiento y calidad del fruto. Tesis Ph. D. Montecillo, MX: Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. 152 p.
- Favela Chávez, E., Preciado Rangel, P., Mendoza, AB. 2006. Manual para la preparación desoluciones nutritivas. (en línea). Torreon, MX: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Horticultura. Unidad Laguna. Consultado 06 jul. 2016. Disponible en http://www.nutricaodeplantas.agr.br/Manual_Soln_Nutritivas.pdf
- Flamenco Cárcamo, CA; Rivas Rivas, N; Guerrero Andrade, SE., 2008. Comportamiento productivo de la codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japónica*) bajo diferentes niveles proteicos en la dieta alimenticia en la estación experimental de Santiago Nonualco. Tesis Ing. Agr. San Vicente, SV: Universidad de El Salvador. Facultad Multidisciplinaria Paracentral. Departamento de Ciencias Agronómicas. 91 p.
- García Olivares, JG. 1994. Efecto de Profit-G, gallinaza y estiércol bovino sobre la actividad fotosintética y el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en el distrito de riego No. 26 del bajo rio San Juan. Tesis M.Sc. San Nicolás de los Garza, MX: Universidad Autónoma de Nuevo Leon. Facultad de Agronomía. Subdirección de Estudios de Postgrado. 83 p.
- García Villavicencio., ER. 2007. Efecto de dos soluciones nutritivas de origen orgánico (Lombricompost y Bokashi) sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. longifolia Compositae) en hidroponía. Tesis Ing. Agr. Guatemala, GT. Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Campus Central. 70 p.
- Gastelum Ferro, WK., 2007. Morfología y fisiología de la raíz del pimiento dulce (*Capsicum annuum* L.) con aireación en sustratos orgánicos y minerales. Tesis M.Sc. Montecillo, MX: Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. 87 p.

- Guerrero Lagunes, LA. 2008. Cultivo intensivo de aromáticas en hidroponía. Tesis M.Sc. Montecillo, MX: Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. 131 p.
- Gutiérrez Tlahque., 2011. Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de la solución nutritiva. Tesis M.Sc. Chapingo, MX: Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Instituto de Horticultura. 77 p.
- Guzmán Díaz, G., 2004. Hidroponía en casa: Una actividad familiar. (en línea). Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sistema Unificado de Información Institucional. Consultado 09 abr. 2016. Disponible en http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/Hidroponia.pdf
- Intagri, 2017. La industria de los cultivos hidropónicos. (en línea). Consultado 1 jul. 2017. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/la-industria-de-los-cultivos-hidroponicos#>
- Juárez Hernández, MA., 2010. Relaciones de Amonio-Cationes, de fosforo-aniones y presión osmótica de la solución nutritiva en *Lilium* híbrido asiático. Tesis Ph. D. Ciudad de Montecillo, MX: Colegio de Postgraduados. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrarias. 233 p.
- Landaverde Alvarado, FA; Melara Lainez, NE; Paniagua Gomez, RA., 2014. Alimentación de pelibueyes con diferentes raciones de concentrado en el centro de investigación y de prácticas de Santiago Nonualco en el año 2012. Tesis Ing. Agr. San Vicente, SV: Universidad de El Salvador. Facultad Multidisciplinaria Paracentral. Departamento de Ciencias Agronómicas. 76 p.
- Martinez Sierra, B., Mendoza, NR. 1993. Respuesta de dos híbridos y una variedad de cebolla (*Allium cepa* L.) a tres programas de fertilización bajo la técnica de cultivos hidropónicos. Tesis Ing. Agr. San Salvador, SV: Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. 102 p.

- Martínez Suller, L. S/f. Caracterización del purín de bovino y porcino en la región de Lombardía (Italia): relación entre propiedades físico-químicas y valor fertilizante. (en línea). Consultado 17 ago. 2016. Disponible en http://axonveterinaria.net/web_axoncomunicacion/21_carcaterizacion_del_purin.pdf
- Medina Lara, MS. 2010. Situación actual de producción y manejo del estiércol en el municipio de texcoco. Tesis M.Sc. Montecillo, MX: Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. 63 p. (Postgrado de Edafología).
- Mejicano Morejón, JG., Rivera Fuentes, EG., Umaña Villatoro, DA. 2013. Evaluación comparativa de dos variedades de chile dulce (*Capsicum annuum* L.); Nathalie vrs Magali R; utilizando la técnica de macrotúneles en diferentes densidades de siembra. Tesis Ing. Agr. San Miguel, SV: Universidad de El Salvador. Facultad Multidisciplinaria Oriental. Departamento de Ciencias Agronómicas. 180 p.
- Molina, E., 2000. Nutrición y Fertilización de la Naranja. (en línea). Informaciones Agronómicas. 40: 5-11. Consultado 24 abr. 2017. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/EDDBA060BEDA77D305256A15005903DC/\\$file/Nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20naranja.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/EDDBA060BEDA77D305256A15005903DC/$file/Nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20naranja.pdf)
- Nederhoff, E. 2009. El manejo de la planta. Boletín Red Hidroponía. Lima, Peru. 2009-45:3-7.
- Nieto Montalba, J., 2009. Cultivo Hidropónico de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero. Tesis Ing. Agr. Punta Arenas, CL: Universidad de Magallanes. Facultad de Ciencias. Escuela de Ciencias y Tecnología en recursos agrícolas y acuícolas. 41 p.
- Ochoa Martínez, E., Figueroa Viramontes, U., Cano Ríos, P., Preciado Rangel, P., Moreno Reséndez, A., Rodríguez Dimas, N. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) en invernadero. (en línea). Chapingo. 15(3): 245-250. Consultado 14 feb. 2016. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60912186004>

- Ortiz Baidón, R., 2015. Interpretación del análisis de laboratorio y recomendación nutricional mediante la técnica Steiner en sistemas hidropónicos de producción. Tesis Ing. Agr. Ciudad de Buenavista, MX: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 77 p.
- Peñate Avilés, JA., Rivera Sánchez, Cl., Valdivieso Chavarría, JC. 2003. Evaluación de microtuneles en chile dulce (*Capsicum annuum* L.) para controlar vectores de enfermedades virales. Tesis Ing. Agr. San Salvador, SV: Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. 74 p.
- Pérez López, M., 2013. Producción de plántulas de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) en sustratos derivados de residuos agrícolas. Tesis M.Sc. Montecillo, MX: Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. 75 p.
- Red Hidroponía, 2016. Hidroponía perspectivas y futuro. (CD-ROM), Curso práctico de hidroponía, modalidad a distancia. Lima, PE. 1 CD-ROM.
- Reyes Tigse, CA. 2009. Evaluación de híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía aplicando bioestimulante Jisamar en el cantón La libertad. Tesis Ing. Agr. La Libertad, EC: Universidad Estatal Península de Santa Elena. Facultad de Ciencias Agrarias. 80 p.
- Ríos Martínez, E. 2013. Hidroponía y Eco-innovación. Alternativas Tecnológicas para el Fomento de Huertos Urbanos en la Ciudad de México. Tesis M.Sc. Ciudad de México, MX: Instituto Politécnico Nacional. Secretaría de Investigación y Posgrado. 103 p.
- Rivera Gonzalez, VH. 2009. Efecto de la aplicación de dos fuentes de hierro en solución nutritiva y foliar sobre el rendimiento de dos cultivares de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Anteproyecto de Tesis Ing. Agr. Guayaquil, EC: Universidad de Guayaquil Departamento de Ciencias Agrarias. 49 p.

Rodríguez de la Rocha, S., 2002. La Hidroponía. Consultado 15 feb. 2017. Disponible en <https://www.academia.edu/4511736/Libro-de-hidroponia-y-nutricion>

Sanz Olleta, A., Soret Lafraya, B. 2006. Producción de purines en vacuno lechero. (en línea). Consultado 12 jul. 2016. Disponible en <http://www.itgganadero.com/itg/portal/documentos2.asp?id=73>

Smither OASIS, Sf. Manual de hidroponía. (en línea). Consultado 07 feb. 2017. Disponible en www.oasisfloral.mx/pdf/manual/manual-hidroponia.pdf

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales), s.f. Informe climatológico de San Luis Talpa. San Salvado, El Salvador. 1 p.

Trinidad Santos, A. S/f. Utilización de estiércol. (en línea). Consultado 15 abr. 2016. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/utilizaci%F3n%20de%20esti%E9rcoles.pdf>

VIII. ANEXOS

Tabla A- 1. Ingredientes para preparar las soluciones concentradas por tratamiento

Fertilizantes*	TO	TU	TMg	Agua (L)
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O		40.23	160.95	1.00
CH ₄ N ₂ O		35.46		1.00
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1397.76			1.20
KNO ₃	168.4			1.12
KH ₂ PO ₄	170.56			0.85
MgSO ₄ ·7H ₂ O	561.85			0.83
K ₂ SO ₄	564.09			5.13
H ₃ BO ₃	3.13			1.00
Na ₆ MO ₇ O ₂₄	0.01			1.00
MnSO ₄ ·4H ₂ O	2.37			1.00
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.09			1.00
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.37			1.00
FeSO ₄ ·7H ₂ O	18.72			1.00

* Cantidades están dados en gramos.

Tabla A- 2. Concentración de elementos presentes por tratamiento

Tratamientos	Concentración de elementos (ppm)											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Zn	Mo	Cu	Mn
T0	166.9	31	276.5	183	49	189.2	3	0.4	0.11	0.01	0.02	2
TU	169											
TMg	169				154.2							

Tabla A- 3. Volumen de ingredientes empleados para preparar las SN ELEB

C.E 1,2 dS.m⁻¹		
	T_U	T_{Mg}
Ingredientes	Cantidad*	Cantidad
Agua		19.000
ELEB		0.500
SC de Mg(NO ₃) ₂		0.200
SC de Urea		0.200
Ácido Fosfórico		0.004
C.E 1,5 dS.m⁻¹		
Agua		18.500
ELEB		1.200
SC de Mg(NO ₃) ₂		0.200
SC de Urea		0.200
Ácido Fosfórico		0.005

*Las cantidades de los ingredientes están dadas en L⁻¹.

Tabla A- 4. Fuentes de nutrimentos utilizados en la SN Steiner

Fertilizante	Composición química	Riqueza (%)
Nitrato de Calcio	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	15,5 N – 26 CaO
Nitrato de Potasio	KNO ₃	13,5 N – 45 K ₂ O
Fosfato Monopotásico	KH ₂ PO ₄	52 P ₂ O ₅ – 34 K ₂ O
Sulfato de Magnesio	MgSO ₄ ·7H ₂ O	16 MgO – 13 S
Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄	50 K ₂ O – 18 S
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	18 B
Molibdato de sodio	Na ₆ MO ₇ O ₂₄	54 Mo
Sulfato de Manganeso	MnSO ₄ ·4H ₂ O	25 Mn
Sulfato de Cobre	CuSO ₄ ·5H ₂ O	25 Cu
Sulfato de Zinc	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	23 Zn
Sulfato de Hierro	FeSO ₄ ·7H ₂ O	20 Fe

Tabla A- 5. Análisis de regresión lineal para la variable número de hojas

Repetición	B	Intercepto	P-Valor	R
1	2.55	-54.60	0.005	0.88
2	2.30	-49.53	0.007	0.87
3	2.48	-54.20	0.008	0.87
4	2.41	-52.53	0.004	0.86
5	2.66	-58.47	0.083	0.90
6	2.76	-61.47	0.010	0.85
7	1.64	-27.00	0.067	0.95
8	1.66	-30.13	0.001	0.91
9	1.65	-29.93	0.003	0.92
10	1.96	-39.20	0.003	0.88
11	1.48	-25.40	0.005	0.89
12	1.50	-20.66	0.005	0.95
13	1.75	-30.93	0.001	0.92
14	1.57	-26.13	0.003	0.94
15	1.76	-27.80	0.001	0.96
16	1.65	-29.53	0.001	0.90
17	1.93	-32.87	0.004	0.91
18	2.14	-41.73	0.003	0.92

Tabla A- 6. Análisis de regresión lineal para la variable altura de plantas

Repetición	B	Intercepto	P-Valor	R
1	1.16	-6.09	0.000	0.97
2	1.13	-6.68	0.001	0.95
3	1.07	-3.00	0.000	0.97
4	1.14	-5.27	0.001	0.94
5	1.10	-4.31	0.001	0.96
6	1.09	-4.59	0.001	0.96
7	0.76	9.35	0.000	0.99
8	0.77	5.60	0.000	0.98
9	0.82	1.45	0.000	0.98
10	0.70	9.18	0.000	0.99
11	0.76	6.45	0.000	0.99
12	0.75	11.17	0.000	0.99
13	0.92	4.40	0.001	0.95
14	0.92	4.53	0.001	0.96
15	0.98	2.98	0.000	0.97
16	0.91	5.36	0.001	0.96
17	0.90	5.61	0.000	0.98
18	0.83	5.46	0.001	0.95

Tabla A- 7. Análisis de regresión lineal para la variable diámetro de tallo

Repetición	B	Intercepto	P-Valor	R
1	0.008	0.210	0.006	0.87
2	0.008	0.200	0.000	0.96
3	0.010	0.133	0.002	0.93
4	0.007	0.258	0.001	0.95
5	0.009	0.163	0.002	0.94
6	0.007	0.247	0.005	0.89
7	0.006	0.238	0.016	0.80
8	0.007	0.205	0.006	0.87
9	0.006	0.251	0.021	0.77
10	0.007	0.202	0.006	0.88
11	0.007	0.211	0.002	0.93
12	0.006	0.295	0.044	0.68
13	0.008	0.211	0.001	0.94
14	0.008	0.160	0.001	0.96
15	0.007	0.240	0.004	0.90
16	0.007	0.253	0.005	0.89
17	0.008	0.264	0.003	0.91
18	0.007	0.190	0.000	0.97

Tabla A- 8. Análisis de varianza de variable número de hojas

Fuente de variable	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	P- valor
Tratamientos	2.62	2	1.31	38.96	0
Error experimental	0.5	15	0.03		
Total	3.12	17			

Tabla A- 9. Análisis de varianza para la variable altura de plantas

Fuente de variable	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	P- valor
Tratamientos	0.38	2	0.19	113.93	0
Error experimental	0.03	15	0		
Total	0.41	17			

Tabla A- 10. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo

Fuente de variable	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	P- valor
Tratamientos	0	2	0	0.19	0.829
Error experimental	0	15	0		
Total	0	17			

Tabla A- 11. Análisis de varianza para la variable número de fruto

Fuente de variable	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p- valor
Tratamientos	1.12	2	0.56	8.74	0.003
Error experimental	0.96	15	0.06		
Total	2.08	17			

Tabla A- 12. Análisis de varianza para la variable peso de fruto

Fuente de variable	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p- valor
Tratamientos	169.68	2	84.84	7.52	0.005
Error experimental	169.19	15	11.28		
Total	338.87	17			

Tabla A- 13. Análisis de varianza para la variable longitud de fruto

Fuente de variable	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p- valor
Tratamientos	10.08	2	15.04	26.15	0
Error experimental	2.89	15	0.19		
Total	12.97	17			