

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRIA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

**LOS INVERNADEROS COMO ALTERNATIVA PARA OPTIMIZAR EL USO
DEL SUELO Y ELEVAR LOS RENDIMIENTOS DE COSECHA:
CASO DEL CULTIVO DE TOMATE
(*Lycopersicum esculentum Mill*)**

Informe final de tesis para optar al Grado de Maestro en Ciencias, con base en el Normativo de Tesis aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas en el numeral 6.1 Punto SEXTO del Acta 15-2009 de la sesión celebrada el 14 de Julio de 2009.

Asesor de Tesis

Lic. Caryl Alonso Jiménez MSc.

Autor

Ing. Agr. Ramiro Pazos Avalos

GUATEMALA, FEBRERO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

Decano:	Lic. José Rolando Secaida Morales
Secretario:	Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales
Vocal Primero:	Lic. MSc. Albaro Joel Girón Barahona
Vocal Segundo:	Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez
Vocal Tercero:	Lic. Juan Antonio Gómez Monterosso
Vocal Cuarto:	P.C. Oliver Augusto Carrera Leal
Vocal Quinto:	P.C. Walter Obdulio Chiguichon Boror

JURADO EXAMIDARO QUE PRACTICÓ EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS

Presidente:	MSc. Carlos Humberto Valladares Gálvez
Secretaria:	MSc. Isua Edrei Miranda López
Vocal I:	MSc. José Ramón Lam



FACULTAD DE
CIENCIAS ECONOMICAS

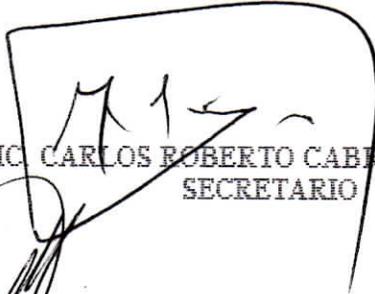
Edificio "S-8"
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS.
GUATEMALA, VEINTICINCO DE FEBRERO DE DOS MIL CATORCE.

Con base en el Punto QUINTO, inciso 5.1, subinciso 5.1.2 del Acta 3-2014 de la sesión celebrada por la Junta Directiva de la Facultad el 18 de febrero de 2014, se conoció el Acta Escuela de Estudios de Postgrado No.26-2013 de aprobación del Examen Privado de Tesis, de fecha 31 de Octubre de 2013 y el trabajo de Tesis de Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos, denominado: "LOS INVERNADORES COMO ALTERNATIVA PARA OPTIMIZAR EL USO DEL SUELO Y ELEVAR RENDIMIENTOS DE COSECHA: CASO CULTIVO DEL TOMATE", que para su graduación profesional presentó el Ingeniero RAMIRO PAZOS AVALOS, autorizándose su impresión.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


LIC. CARLOS ROBERTO CABRERA MORALES
SECRETARIO




LIC. JOSE ROLANDO SECAIDA MORALES
DECANO



Ev.



ACTA No. 26-2013

En la Sala de Reuniones de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala del Edificio S-11, nos reunimos los infrascritos miembros del Jurado Examinador, el **31 de octubre** de 2013, a las **17:00** horas para practicar el **EXAMEN GENERAL DE TESIS** del Ingeniero **Ramiro Pazos Avalos**, carné No. **100017108**, estudiante de la Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos de la Escuela de Estudios de Postgrado, como requisito para optar al grado de Maestro en Formulación y Evaluación de Proyectos. El examen se realizó de acuerdo con el normativo de Tesis, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas en el numeral 6.1, Punto SEXTO del Acta 15-2009 de la sesión celebrada el 14 de julio de 2009.-----

Cada examinador evaluó de manera oral los elementos técnico-formales y de contenido científico profesional del informe final presentado por el sustentante, denominado **"LOS INVERNADORES COMO ALTERNATIVA PARA OPTIMIZAR EL USO DEL SUELO Y ELEVAR RENDIMIENTOS DE COSECHA: CASO CULTIVO DEL TOMATE"**, dejando constancia de lo actuado en las hojas de factores de evaluación proporcionadas por la Escuela. El examen fue **APROBADO** con una nota promedio de **75** puntos, obtenida de las calificaciones asignadas por cada integrante del jurado examinador. El Tribunal hace las siguientes recomendaciones: Que el sustentante incorpore las enmiendas señaladas dentro de los 15 días hábiles siguientes.

En fe de lo cual firmamos la presente acta en la Ciudad de Guatemala, a los treinta y un días del mes de octubre del año dos mil trece.

MSc. Carlos Humberto Valladares Gálvez
Presidente

MSc. Isua Edrei Miranda López
Secretaria

MSc. José Ramón Lam
Vocal I

Ing. Ramiro Pazos Avalos
Postulante



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ADENDUM

El infrascrito Presidente del Jurado Examinador CERTIFICA que el estudiante Ramiro Pazos Avalos, incorporó los cambios y enmiendas sugeridas por cada miembro examinador del Jurado.

Guatemala, 14 de noviembre de 2013.

(f)

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Valladares', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat illegible.

MSc. Carlos Humberto Valladares Gálvez
Presidente

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien permite que cada día sea una nueva oportunidad para ser mejores.

A mi familia, que siempre ha estado a mi lado incondicionalmente en los momentos de prueba y alegría, en especial a mi madre, ya que sin su apoyo hubiera sido imposible realizar esta investigación.

A mi asesor de tesis y compañeros de estudio, por brindarme el privilegio de su amistad.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	I
INDICE DE ACRONIMOS	IV
INDICE DE CUADROS Y TABLAS	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
RESUMEN	VII
I. INTRODUCCIÓN	1
A. CONTEXTO DEL ESTUDIO, OBJETIVOS E HIPÓTESIS	2
1. <i>Contexto del estudio</i>	2
2. <i>Definición del problema</i>	3
3. <i>Objetivo General</i>	4
4. <i>Objetivos Específicos</i>	4
5. <i>Hipótesis</i>	4
B. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.....	4
1. <i>Tipo de Investigación</i>	4
2. <i>Sujetos de Estudio</i>	5
II. LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS EN GUATEMALA.	6
A. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	6
1. <i>Época Precolombina</i>	6
2. <i>Época Colonial</i>	9
3. <i>Período de 1821 a 1871</i>	12
4. <i>Período de 1871 a 1944</i>	13
5. <i>Período de 1944 a 1954</i>	15
6. <i>Período de 1954 a 1996</i>	16
7. <i>Período de 1996 a 2010</i>	17
III. LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA APLICADA A LA PRODUCCIÓN ALIMENTARIA.....	20
A. LA INNOVACIÓN AGRÍCOLA EN LA HISTORIA.....	20
1. <i>La Revolución Verde</i>	22
2. <i>Biotecnología</i>	24
3. <i>Organismos Genéticamente Modificados (OGM)</i>	25

IV. HIDROPONIA, EL CULTIVO DE PLANTAS SIN USO DE SUELO.	28
A. HIDROPONÍA, ORÍGENES Y TENDENCIAS	28
1. <i>Definiciones</i>	28
2. <i>Historia</i>	28
3. <i>Ventajas y Desventajas</i>	29
4. <i>Sustratos</i>	30
5. <i>Sistemas hidropónicos</i>	32
6. <i>Perspectivas y futuro de la Hidroponía</i>	33
B. LOS SUSTRATOS HIDROPÓNICOS Y EL SUELO	34
C. NUTRICIÓN VEGETAL	36
1. <i>La función de la raíz en el crecimiento de las plantas</i>	36
2. <i>Elementos esenciales</i>	37
D. TÉCNICA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA RECIRCULANTE (NFT)	41
1. <i>Materiales necesarios para implementar un sistema NFT</i>	41
2. <i>Aspectos técnicos para el diseño del sistema NFT</i>	44
E. ASPECTOS RELEVANTES DEL CULTIVO DE TOMATE	46
1. <i>Importancia económica del tomate en Guatemala</i>	46
2. <i>Fenología y ciclo de cultivo</i>	48
3. <i>Requerimientos climáticos</i>	48
F. MANEJO HIDROPÓNICO	49
1. <i>Semillero</i>	49
2. <i>Contenedores y sustratos</i>	50
3. <i>Espaciamiento entre plantas</i>	50
4. <i>Prácticas culturales</i>	50
V. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA HIDROPONICO NFT PARA LA PRODUCCION DE TOMATE BAJO INVERNADERO	52
A. SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN Y TAMAÑO DEL INVERNADERO	52
B. MATERIALES UTILIZADOS	52
1. <i>Materiales utilizados en la construcción del invernadero</i>	52
2. <i>Materiales utilizados en la construcción del sistema hidropónico NFT</i>	53
3. <i>Manejo de la plantación de tomate</i>	57
VI. RESULTADOS	62
A. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE INVERNADERO Y SISTEMA HIDROPÓNICO NFT EN UN ÁREA DE 28 METROS CUADRADOS	62
1. <i>Inversión fija</i>	62
2. <i>Capital de trabajo</i>	63

B.	RENTABILIDAD ECONÓMICA DEL CULTIVO DE TOMATE CON EL SISTEMA HIDROPÓNICO NFT POR UNIDAD DE ÁREA	66
1.	<i>Costo de producción</i>	66
2.	<i>Volumen de producción y ventas</i>	69
3.	<i>Flujo de caja</i>	69
4.	<i>Estado de resultados</i>	70
5.	<i>Balance General</i>	71
6.	<i>Análisis de rentabilidad</i>	71
C.	COMPARACIÓN DE CICLOS FENOLÓGICOS DEL TOMATE Y RENDIMIENTOS POR UNIDAD DE ÁREA	73
VII.	CONCLUSIONES	78
VIII.	RECOMENDACIONES	80
IX.	BIBLIOGRAFÍA	81
X.	ANEXOS	85
A.	ANEXO 1	85
B.	ANEXO 2	87
C.	ANEXO 3	88
D.	ANEXO 4	92

INDICE DE ACRONIMOS

SIGLAS	SIGNIFICADO
ADN	Acido Desoxirribonucleico
AGREQUIMA	Asociación del Gremio Químico Agrícola
BANGUAT	Banco de Guatemala
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CENTA	Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (El Salvador)
CONTIERRA	Comisión Presidencial para la Resolución de Conflictos de Tierra
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FONTIERRAS	Fondo de Tierras
MAGA	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación
MINUGUA	Misión de Verificación de Naciones Unidas en Guatemala
NFT	<i>Nutrient Film Technique</i>
OG	Organización Gubernamental
OGM	Organismos genéticamente mejorados
ONG	Organización No Gubernamentales
PIB	Producto Interno Bruto
PVC	Policloruro de Vinilo
RIC	Registro de Información Catastral
UFCO	<i>United Fruit Company</i>
UPGGR	Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala

INDICE DE CUADROS Y TABLAS

CUADRO 1: ÁREAS APTAS PARA EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE TOMATE POR DEPARTAMENTO EN GUATEMALA	46
CUADRO 2: IMPORTACIÓN, EXPORTACIÓN Y PRECIO MEDIO DEL TOMATE EN GUATEMALA	47
CUADRO 3: TIEMPO DE UTILIZACIÓN DE BOMBA CENTRÍFUGA DEL SISTEMA HIDROPÓNICO	55
CUADRO 4: PRODUCTOS COMERCIALES Y CANTIDADES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA FASE DE FRUCTIFICACIÓN.	60
CUADRO 5: INVERSIÓN FIJA.....	62
CUADRO 6: INVERSIÓN EN CAPITAL DE TRABAJO PARA SEMBRAR UN INVERNADERO DE 28 MTS ²	63
CUADRO 7: INVERSIÓN TOTAL.....	64
CUADRO 8: COSTOS DE INVERNADERO Y SISTEMA HIDROPÓNICO	65
CUADRO 9: ESTADO DE COSTO DE PRODUCCIÓN	66
CUADRO 10: ESTADO DE COSTO DE PRODUCCIÓN	68
CUADRO 11: VOLUMEN DE PRODUCCIÓN Y VENTAS.	69
CUADRO 12: FLUJO DE CAJA.....	70
CUADRO 13: ESTADO DE RESULTADOS	70
CUADRO 14: BALANCE GENERAL	71
CUADRO 15: COMPARACIÓN EN DÍAS DE CICLOS FENOLÓGICOS DE UNA PLANTACIÓN DE TOMATE CON CRECIMIENTO DETERMINADO.	75
CUADRO 16: DETALLE DE INSUMOS UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO, SISTEMA HIDROPÓNICO Y SOLUCIÓN NUTRITIVA.....	85
CUADRO 17: DETALLE DE CONTROL DE COSECHA DE TOMATE.....	87
CUADRO 18: DETALLE DE CONTROL DE PH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y CONSUMO DE AGUA.	88
TABLA 1: ANÁLISIS DE LA INSTITUCIONALIDAD AGRARIA EN EL MARCO DE LOS ACUERDOS DE PAZ.....	18
TABLA 2: LISTA DE ELEMENTOS ESENCIALES UTILIZADOS POR LAS PLANTAS POR FORMA DE UTILIZACIÓN Y FUNCIÓN BIOQUÍMICA.....	39

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: COMPARACIÓN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	66
FIGURA 2: COMPARACIÓN GRÁFICA DE CICLOS FENOLÓGICOS DEL TOMATE	75
FIGURA 3: COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS POR UNIDAD DE ÁREA.	77
IMAGEN 1: DESARROLLO FENOLÓGICO DE UNA VARIEDAD DE TOMATE DE HÁBITO DE CRECIMIENTO DETERMINADO, BAJO CONDICIONES DE TRÓPICO SECO CENTROAMERICANO.	74
IMAGEN 2: PLANTA, ELEVACIÓN Y PERFIL DEL INVERNADERO UTILIZADO.	92
IMAGEN 3: TANQUE COLECTOR CON LA BOMBA CENTRÍFUGA, TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN Y TUBERÍA DE DRENAJE.....	92
IMAGEN 4: TIMER UTILIZADO PARA CONTROLAR LOS TIEMPOS DE ENCENDIDO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA.	93
IMAGEN 5: SISTEMA DE RIEGO CON TUBERÍA PVC DE $\frac{3}{4}$ QUE SE UTILIZÓ EN LAS ORILLAS DE LA MESA No.1	93
IMAGEN 6: CANAL DE RIEGO DE 8 CM DE ANCHO EN LA BASE.	94
IMAGEN 7: CANAL DE RIEGO DE 16 CM DE ANCHO EN LA BASE	94
IMAGEN 8: RECIPIENTE COMPRADO EN TIENDA ESPECIALIZADA EN ARTÍCULOS HIDROPÓNICOS.	95
IMAGEN 9: RECIPIENTE HECHO EN CASA DE MANERA ARTESANAL	95
IMAGEN 10: CANALES DE RIEGO DE 16 CM DE BASE QUE DESEMBOCAN EN LA CANALETA Y LUEGO LA TUBERÍA DE 3" DE DIÁMETRO.	96
IMAGEN 11: BANDEJA GERMINADORA CON SUSTRATO HÚMEDO Y BOLSA PLÁSTICA PARA RETENER HUMEDAD Y CALOR.	96
IMAGEN 12: RECIPIENTE CON MEZCLA DE SOLUCIÓN NUTRITIVA PARA PROPICIAR CRECIMIENTO DE RAÍCES.....	97
IMAGEN 13: DISTANCIAMIENTO ENTRE PLANTAS EN LA MESA No. 1	97
IMAGEN 14: INSTRUMENTO UTILIZADO PARA MEDIR EL PH, C.E Y TEMPERATURA.	98
IMAGEN 15: RAÍZ DE TOMATE MUERTA POR FALTA DE OXÍGENO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA.....	98
IMAGEN 16: BALANZA UTILIZADA PARA PESAR EL PRODUCTO COSECHADO	99

RESUMEN

El presente estudio describe la metodología utilizada y los resultados obtenidos en la primera cosecha de tomate en condiciones de un invernadero utilizando un sistema hidropónico “NFT”¹. Cabe mencionar que se eligió este sistema debido a que numerosas fuentes bibliográficas hacen referencia de la alta calidad de productos que se obtienen en un corto período de tiempo como resultado de la constante oferta de agua y elementos minerales que permiten a las plantas crecer con poco estrés, elevando su potencial productivo.(Carrasco, G. 1996)

Los materiales utilizados en la construcción del invernadero y el sistema hidropónico fueron seleccionados tomando en consideración la economía, es decir, se utilizaron materiales alternativos de bajo costo y alta duración, que cumplen con los requisitos que dicta la técnica NFT para el adecuado desarrollo de diversos cultivos, en este caso, el cultivo de tomate.

Las prácticas culturales aplicadas durante las distintas fases del desarrollo de la plantación fueron similares a las que se utilizan en la producción de tomate en campo abierto, con la diferencia que las prácticas relacionadas al control de plagas y enfermedades fueron considerablemente menores, debido al ambiente relativamente aislado que brinda el invernadero.

Los tiempos de cosecha y rendimientos obtenidos utilizando la técnica NFT, fueron muy similares a los reportados por CATIE respecto a los rendimientos en campo.

Los hallazgos de este estudio, pretenden ser un aporte para fomentar el uso de sistemas de producción alternativos, que se constituyan como opciones novedosas para el desarrollo de la agricultura en las áreas peri-urbanas y rurales de Guatemala.

¹ Nutrient Film Technique por sus siglas en inglés o Técnica de la Solución Nutritiva Recirculante en español.

I. INTRODUCCIÓN

La tendencia histórica de la producción agrícola en Guatemala se basa principalmente en los modelos extensivos de producción, misma que viene desde la época colonial y que ha sufrido poco cambio hasta el día de hoy. La investigación y el desarrollo de nuevas técnicas agrícolas han permitido a la humanidad optimizar el uso de la tierra, y a través de la utilización de invernaderos, controlar las condiciones del medio en el que se desarrollan los cultivos, permitiendo elevar los rendimientos de cosecha en áreas que presentan condiciones poco favorables.

Una de las técnicas desarrolladas y utilizadas en los países del hemisferio norte es la hidroponía bajo condiciones de invernadero, cuya implementación ha permitido el uso intensivo de tierras degradadas en condiciones climáticas poco favorables para convertirlas en tierras de alta productividad agrícola, que a su vez emplean prácticas amigables con el ambiente.

La construcción de un invernadero experimental con un sistema hidropónico NFT pretende demostrar que con un diseño funcional y sencillo, aunado a la utilización de materiales de bajo costo, se pueden obtener rendimientos iguales e incluso mayores, a los que se obtienen utilizando prácticas agrícolas tradicionales a campo abierto en zonas del país consideradas altamente productivas.

Utilizando el enfoque descriptivo/exploratorio fue posible demostrar que utilizando materiales de bajo costo en la construcción del invernadero y el sistema hidropónico, se logró una disminución significativa en la inversión inicial del proyecto, contando con la ventaja de que los materiales utilizados en este estudio se caracterizan por encontrarse disponibles permanentemente en el mercado.

El estudio confirmó que el sistema hidropónico NFT es funcional y reporta resultados satisfactorios en cuanto a tiempos fenológicos, calidad del fruto y rendimientos; sin embargo, es importante mencionar que para lograr la recuperación de los costos de inversión y funcionamiento en la primera cosecha, es necesario aumentar el tamaño del invernadero.

A. Contexto del estudio, objetivos e hipótesis

1. Contexto del estudio

Tradicionalmente la mayoría de la población que vive en el área rural de Guatemala se dedica a la agricultura, la cual constituye la principal actividad económica y comercial del país. Un elevado porcentaje de los agricultores se dedican principalmente a la producción de granos básicos (maíz y frijol), cuyas cosechas son utilizadas en su mayoría para autoconsumo, y en el mejor de los casos cuando las cosechas son abundantes, se vende una cantidad para cubrir otras necesidades básicas como lo son la salud, vivienda y ropa. Otro grupo de agricultores se dedican a la producción de hortalizas, las cuales son vendidas en los mercados nacionales y regionales, lo que garantiza un mayor nivel de ingresos económicos debido a la buena cotización de este tipo de productos.

El denominador común de la producción agrícola del país es el uso de prácticas tradicionales, es decir, que la tierra se trabaja de forma empírica, aplicando los conocimientos transmitidos de generación en generación por las familias de agricultores. Cuando se tiene la oportunidad de realizar un recorrido por las áreas de producción agrícola de Guatemala, es común ver agricultores con bombas de mochila aplicando agroquímicos para el control de plagas y enfermedades o aplicando fertilizantes para suplir las deficiencias nutricionales del suelo.

El uso continuo de las prácticas antes mencionadas se justifica únicamente si la extensión del terreno es suficientemente grande para que las ventas del producto proporcionen suficiente margen de ganancia y así, comprar los insumos necesarios para mantener un rendimiento aceptable en las cosechas. Dichos costos tenderán a elevarse cada año debido al deterioro constante al que está sometido el recurso suelo y al inevitable encarecimiento de los agroquímicos utilizados para suplir las deficiencias nutricionales del suelo.

Adicionalmente, en las áreas más pobres del país, los agricultores se ven obligados talar áreas boscosas para obtener tierra fértil y establecer sus cultivos. Muchas de estas áreas se caracterizan por tener suelos poco profundos y estar ubicadas en laderas con altas pendientes, lo que trae como consecuencia una acelerada pérdida del suelo. Este tipo de

agricultores no cuentan con los recursos económicos suficientes para comprar agroquímicos y suplir las deficiencias nutricionales del suelo, por lo que cuando los rendimientos de las cosechas bajan, abandonan la parcela y talan otra área boscosa para poder cosechar las cantidades de producto mínimas que garanticen el sustento familiar.

Si el modelo nacional de producción agrícola no cambia, los costos de producción serán siempre elevados, la eficiencia en el uso de la tierra será deficiente y la ampliación de la frontera agrícola seguirá su ritmo actual, poniendo en riesgo las pocas áreas ricas en flora y fauna que aún posee el país. La promoción de tecnologías que maximicen los rendimientos agrícolas por unidad de área, que reduzcan la aplicación de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades y que sean financieramente accesibles para los agricultores es sin duda una alternativa que no se puede dejar pasar ya que puede coadyuvar a dar solución al problema del empobrecimiento de los suelos y avance de la frontera agrícola.

Las técnicas hidropónicas se caracterizan por utilizar sustratos inertes para brindar soporte a los cultivos y utilizar agua enriquecida con nutrientes para proporcionar los elementos que necesitan las plantas para lograr cosechas abundantes. Una de estas técnicas se llama NFT, que posee varias ventajas sobre otras técnicas hidropónicas debido a que las raíces están en contacto con el agua que se recircula constantemente, lo cual garantiza una buena disponibilidad de nutrientes para las plantas, logrando maximizar los rendimientos en las cosechas. Así mismo, una de las mayores desventajas que presenta esta técnica es que su implementación ha conllevado tradicionalmente, la utilización de materiales y equipo especializado y de alto costo, por lo que no es una alternativa accesible para la mayoría de agricultores de escasos recursos.

2. Definición del problema

El uso de prácticas agrícolas tradicionales con características extensivas, favorece únicamente a los agricultores o productores que tienen la posibilidad de arrendar o poseer grandes áreas de terreno, relegando a los pequeños poseedores de tierra a la siembra de cultivos de subsistencia.

3. Objetivo General

Aportar prácticas alternativas de producción a través del sistema hidropónico NFT en condiciones de invernadero, que se constituyan como opciones novedosas para el desarrollo de la agricultura en las áreas peri-urbanas y rurales de Guatemala.

4. Objetivos Específicos

- a) Estimar los costos de construcción de un invernadero y un sistema hidropónico NFT en un área de 7X4 metros.
- b) Estimar la rentabilidad por unidad de área que se obtiene de la cosecha de tomate utilizando la técnica hidropónica NFT y la siembra tradicional a campo abierto.
- c) Comparar los rendimientos y ciclos fenológicos del cultivo del tomate utilizando la técnica hidropónica NFT y la siembra en campo abierto.

5. Hipótesis

La utilización de materiales de bajo costo en la construcción de invernaderos y sistemas hidropónicos, garantiza rendimientos de cosecha por unidad de área mayores a los que se obtienen utilizando prácticas agrícolas tradicionales en campo abierto.

B. Metodología del Estudio.

1. Tipo de Investigación

Fue una investigación experimental que utilizó como fuente principal la información obtenida en la construcción de un invernadero con sistema hidropónico NFT y del cultivo de tomate dentro del mismo, que se complementó con la consulta de fuentes bibliográficas relacionadas a los orígenes de la agricultura en Guatemala, la evolución de los sistemas productivos agrícolas a nivel mundial, el manejo del cultivo de tomate y los lineamientos técnicos necesarios para implementar exitosamente un sistema hidropónico utilizando la técnica NFT.

2. Sujetos de Estudio

El estudio pretende demostrar que es posible utilizar materiales de bajo costo para construir invernaderos utilizando la técnica “NFT”, obteniendo resultados satisfactorios en cuanto a los tiempos de cosecha y rendimiento de cultivos con precios de venta atractivos en el mercado, específicamente el cultivo del tomate, que es una hortaliza que ha mantenido su precio constante en los últimos años.

La replicación de este tipo de invernaderos puede ser una alternativa atractiva para los pequeños y medianos agricultores tanto de las áreas peri-urbanas como rurales de Guatemala, constituyendo una alternativa para la utilización de áreas degradadas o patios de casa, en donde se puedan obtener cosechas de calidad que sean a la vez rentables económicamente.

II. LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS EN GUATEMALA.

A. Antecedentes históricos

1. Época Precolombina

Muchos arqueólogos y antropólogos estiman que la llegada del hombre a América se remonta aproximadamente a 10,000 años antes de Cristo, en la denominada era de hielo, logrando atravesar desde Asia hasta América por un puente congelado formado en el estrecho de Bering. Después de esta etapa de migración, algunos pueblos ya radicados en sus nuevas tierras inician el proceso de domesticación de algunas plantas tales como la papa, el maní, la oca y el girasol. (Castillo Montejo, 2007, pág. 17)

Según Montejo 2007 “En América el cultivo de los tubérculos, antecedió al cultivo del maíz contrario a lo que otros especialistas en historia precolombina han planteado ya que la agricultura americana comienza con el cultivo de la yuca y otras especies como el camote y la jícama.”

Complementario a lo escrito en el párrafo anterior, es importante mencionar que ni en los orígenes ni en el apogeo que alcanzó la agricultura en la región centroamericana ésta se combino con la ganadería, la cual fue una práctica utilizada por los pueblos de la zona andina que domesticaron animales tales como la Llama, la Alpaca y la Vicuña para utilizarlas como bestias de carga y obtener productos como carne, lana y pieles. (Castillo Montejo, 2007, pág. 18)

En la región Mesoamericana, las evidencias más antiguas de actividades agrícolas se remontan a los años 4,000 y 5,000 a. C., siendo éste un proceso gradual en el que las poblaciones de costumbres nómadas, cazadoras y recolectoras propiciaron el crecimiento de ciertas especies de plantas para consumo. Por tanto, fue la especialización en la domesticación de plantas alimenticias nativas lo que propició el cambio a una vida sedentaria, dando origen a pequeños poblados establecidos principalmente a orillas de fuentes de agua. (Castillo Montejo, 2007, pág. 18)

En lo que respecta al desarrollo de los pueblos indígenas en América y en especial, de la civilización Maya, los antropólogos definen varios períodos de tiempo, iniciando por el

período pre-clásico el cual tuvo una duración de más de 2,000 años, tiempo durante el cual ocurrieron fenómenos notables en el desarrollo de la cultura Maya. Este período se sub-dividió a su vez en los períodos: preclásico temprano, (2,000 a 800 años a. C.), período preclásico medio, (800 a 400 años a. C.) y período preclásico tardío, (400 años a 250 años d. C.). (Girard, 1977, pág. 33)

En el periodo pre-clásico temprano, se dio la transición de los grupos de cazadores y recolectores que se agrupaban en aldeas que ya mostraban indicios de una organización social definida, que propició el desarrollo paulatino de economías locales. Dichas aldeas se fueron distribuyendo de manera dispersa a lo largo del territorio mesoamericano, presentando rasgos característicos de las sociedades modernas en las cuales la familia desempeñaba un papel muy importante. En este período las aldeas eran unidades independientes con una autonomía que respondía a las necesidades de sus habitantes y que influían de manera directa en la toma de decisiones. (Castillo Montejó, 2007, pág. 19)

En el territorio que actualmente pertenece a Guatemala se debe destacar que durante el período pre-clásico medio, en el altiplano y las tierras bajas, fue evidente el aumento del poder político, el cual pasa a manos de grupos administrativos, tal es el caso de Kaminal Juyú que fue sin duda uno de los centros dominantes del altiplano guatemalteco. Así mismo, en este período se inició la construcción de un sistema hidráulico que conducía el agua del extinto lago Miraflores, por medio de canales de irrigación, hacia campos agrícolas situados a las orillas de la aldea.

Se observa el avance de otros grupos hacia zonas que antes no estaban completamente ocupadas, tal es el caso del área que corresponde a Petén, lo cual repercutió en el aumento de la densidad poblacional que obligó al mejoramiento de la tecnología agrícola y control del agua para sistemas de riego. A partir de este período se han encontrado indicios de mejoras significativas en temas como la comunicación entre las poblaciones propiciado principalmente por el intercambio comercial que se daba entre aldeas y poblaciones. La economía de los pueblos se basaba principalmente en la agricultura y el comercio, el cual se extendía a desde el Altiplano guatemalteco hasta las regiones costeras, intercambiando productos de diversa naturaleza. (Castillo Montejó, 2007, pág. 20)

Durante el período clásico tardío, se da un acelerado crecimiento poblacional en las tierras bajas que obligó a los habitantes a emplear nuevos métodos para mejorar las labores agrícolas, dentro de los que se pueden mencionar la agricultura intensiva y la incorporación de nuevos alimentos en la dieta cotidiana. Se utilizaron sistemas de irrigación por medio de canales, campos elevados, terrazas y otros procedimientos.

Además de cultivar maíz, frijol y ayotes, los mayas incrementaron la producción de subsistencia, que se complementaba con el aprovechamiento de los productos comestibles vegetales provenientes del bosque, del cual también obtenían carne y otros bienes producto de la cacería.

Cabe destacar que en el período en mención, también se introdujeron innovaciones en el campo intelectual tales como el calendario y la escritura usados para determinar las épocas de siembra y cosecha, que también fueron utilizados para llevar registros históricos de los acontecimientos políticos y ceremonias religiosas importantes. (Castillo Montejó, 2007, pág. 21)

Según Girard (1977), “el registro que se tiene en el Chilam Balam de Chiyamel, aparece la trinidad de la agricultura maya, conformada por la yuca, el camote, y la jícama, plantas nativas que se cultivaron desde la más remota antigüedad, cuyas raíces tuberosas constituían la alimentación básica de los mayas-quichés, antes del advenimiento de la cultura del maíz.” Con la cultura del maíz desaparece la era de los tubérculos cuyas áreas de cultivo coinciden con las áreas de distribución del maíz primitivo, por lo que se puede suponer que la domesticación del maíz se originó en la misma franja geográfica en donde se cultivaban los tubérculos antes mencionados.

La explicación del origen del cultivo del maíz también aparece en el Popol Vuh, el cual denota la creación de un calendario específico para este cultivo, el cual fue único en América y en el mundo. (Castillo Montejó, 2007, pág. 22)

El período clásico tardío (550 – 900 años d. C.) representa la época de mayor apogeo para y desarrollo logrado por la civilización maya en temas relacionados a la economía, agricultura, medición del tiempo artes y arquitectura. Los edificios aumentaron sus dimensiones y las cresterías de los templos alcanzaron cada vez mayor elevación. Se

incrementaron los contactos y relaciones comerciales entre todas las regiones de lo que hoy se Guatemala.

Como resultado de la presión por la tierra y otros factores relacionados, al final del período clásico se produjeron continuos enfrentamientos entre ciudades, así como desordenes y revueltas internas en distintos sitios, lo cual derivó en una mayor presión sobre la clase dominante y un creciente descontento de la clase popular. Todo ello se tradujo en un proceso de desintegración en los ordenes social y político del sistema lo que provocó posteriormente el fenómeno conocido como: “Colapso maya” acaecido al final del siglo IX (Asociación Amigos del País, 1994, pág. 56)

2. Época Colonial

Cuando los conquistadores españoles llegaron a lo que hoy es territorio guatemalteco encontraron una sociedad altamente organizada que poseía una producción agrícola rica y variada, basada principalmente en las plantas nativas de las distintas regiones cuya producción y comercio estaban organizados y comandados por los grupos dominantes de los pueblos prehispánicos. (Gramajo, 2008, pág. 5)

Observando el nivel de organización de los nativos del nuevo mundo, la conquista de América por España promovió un proceso de reforma, basado principalmente en aspectos religiosos, culturales, económicos y políticos cuyo objetivo era establecer un dominio ideológico y destruir la organización social de los pueblos nativos, para luego construir el modelo Colonial. (Gramajo, 2008, pág. 5)

Los monarcas españoles identificaron que la tierra era fundamental para la reproducción del estado colonial que ellos deseaban, por lo que iniciaron el proceso de reparto de tierras, el cual afirmaba y confirmaba sus “derechos jurídicos e inalienables” sobre los territorios recién descubiertos; lo cual supuso el despojo arbitrario de tierras a los pueblos indígenas que fueron obligados a reconocer este nuevo orden legal. Al respecto Gramajo cita al Dr. Gustavo Palma en el libro titulado Cambios en la tenencia de la tierra.

“En el caso de Guatemala, el cabildo de la ciudad de Santiago, emitió en abril de 1528 las primeras ordenanzas para el reparto de solares en el perímetro de la ciudad destinados a la construcción de casas, y de tierras en los alrededores para ser cultivadas. Junto a este tipo de repartos se hizo también el de indígenas para que las trabajaran: Los primeros repartos consistieron en peonías, caballerías, conceptos que hacían referencia a la estratificación militar entonces vigente. La primera era atribuida a los soldados y la segunda, a los oficiales de mayor rango. Esta distinción se traducía en las diferentes dimensiones que ambas figuras tenían. La intención profunda de estos repartos de tierras consistía en estimular a esos hombres a radicarse de manera definitiva que permitiría iniciar el proceso de colonización”. (Palma, Taracena, & Oyarzún, 2002, págs. 34-35)

Era claro que las autoridades coloniales no querían que los campesinos indígenas dejaran de cultivar la tierra, ya que esto significaba garantizar la producción de alimentos para satisfacer las necesidades de los conquistadores, por lo que las mercedes de tierra fueron otorgadas con la condición de que esto no mermara las habilidades de domesticación y cultivo plantas nativas por parte de los campesinos. (Castellanos Cambranes, 1992, pág. 101)

Con el apareamiento de la Encomienda en 1,542 se concede como derecho el recibir tributos de campesinos indígenas. La encomienda era parte de las denominadas “Leyes Nuevas” que se aprobaron como resultado del clamor de algunos frailes tales como Montesino y de las Casas. El impulso de las Leyes Nuevas, marca una nueva etapa en la historia en la vida colonial, aunque el contenido de éstas no se ejecutó a cabalidad. (Gramajo, 2008, pág. 6)

Es importante mencionar que las denominadas Leyes Nuevas tenían dos objetivos, el primero era librar al indígena del sistema esclavista con que inició la época colonial, cuyo resultado solo mitigó de alguna manera la sobre explotación a la que estaban expuestos y la segunda era rescatar la autoridad de la Corona española sobre tierras americanas, las cuales estaban siendo controladas de manera arbitraria por conquistadores y colonizadores. Dichos cambios permitieron la organización y estructuración de un nuevo modelo de producción y administración de la tierra mediante las Encomiendas, Repartimientos y Mandamientos. (Gramajo, 2008, pág. 6)

Los procesos productivos en la colonia se basaron fundamentalmente en la explotación de la tierra, cuyos beneficios favorecían exclusivamente a conquistadores y colonos, en detrimento de los pueblos indígenas por el trabajo forzado y pago de tributos. Calderón

Tobar, describe la jerarquía de la avanzada sociedad colonial, la cual permite entender la política agraria colonial y los orígenes del latifundio en Guatemala.

“En las ciudades vivían los peninsulares y los criollos; en los pueblos de indios, los mesaguales prehispánicos o siervos coloniales, es decir los indios; y en las villas, vivían los ladinos, que no eran otros que los mestizos, zambos y negros huidos o libertos. Las contradicciones étnicas-sociales entre todos estos grupos, han sido fomentadas por las clases dominantes desde la época de la colonia con la única finalidad de no permitir la unidad y el consenso entre la sociedad, y de suministrar protección a los intereses de poder y privilegios heredados de la lejana conquista y de sus más recientes efectos” (Calderon Tobar, 2001, pág. 34)

El Dr. Palma hace referencia a cómo se realizó el proceso de repartición de tierras en Guatemala durante la época colonial, el cual fue el punto de partida de las propiedades latifundistas en el país:

“Una vez establecida la Audiencia de Guatemala como resultado de la promulgación de las leyes nuevas (1542), asumió la prerrogativa del reparto de tierras. A partir de entonces las concesiones de tierra se hicieron bajo la figura de la merced real de la tierra. Esta consistía en una porción de 4 caballerías de extensión otorgada gratuitamente con la condición de que el beneficiario la cultivara en la brevedad posible, comprometiéndose a no venderla o traspasarla a otra persona sino hasta cuatro años después de haberla recibido” (Palma, Taracena, & Oyarzún, 2002, págs. 36-37)

Palma hace referencia a la documentación que existe en el Archivo General de Centroamérica relacionada a la temática de concesión de tierras, y menciona que fue a partir de la segunda mitad del siglo XVI que se dan las primeras concesiones en las cercanías de la misma ciudad, luego estas concesiones se fueron dando en terrenos periféricos a las ciudades y pueblos hasta llegar a los departamentos. Menciona también que a finales del siglo XVI, este tipo de repartición se había convertido en un tipo de especialización de la propiedad privada y muchas familias fueron ocupando y apropiándose de mayor cantidad de tierras de forma arbitraria, a tal grado que a finales de este mismo siglo Felipe II se vio obligado a imponer orden y control en el acceso a la propiedad de la tierra mediante dos reales emitidas en 1591. (Gramajo, 2008, pág. 7)

Con las reales antes mencionadas, la Corona española inició el proceso de recuperación del control sobre la repartición de las tierras americanas, para lo cual establecieron reglas referentes al establecimiento de valores y precios negociables de acuerdo a las cantidades de tierra pretendidas. En el caso de los pueblos indígenas, la repartición de

las tierras se hizo con el único fin de que fueran trabajadas colectivamente para poder cumplir con el pago obligatorio de tributos a las autoridades coloniales. La cantidad de tierra asignada a cada comunidad indígena debía ser 38 caballerías que debían tener suficiente agua, madera y pastos para poder suplir las necesidades de la comunidad. (Gramajo, 2008, pág. 8)

3. Período de 1821 a 1871

En 1821 se consuma la independencia del territorio centroamericano de la Corona española, lo cual dio lugar al establecimiento de leyes propias del Estado de Guatemala dentro de las que se incluye el principio de ciudadanía, el cual reconoce como ciudadanos a las “personas que ejercitan alguna profesión útil o tengan medios conocidos de subsistencia de manera individual”². Dicha afirmación deja fuera de este concepto a la mayoría de la población indígena. (Gramajo, 2008, pág. 9)

Desde esta fecha (1821) hasta que se da la reforma liberal, la política agraria prácticamente no sufre cambios en relación a la época colonial, sin embargo, es necesario mencionar que en este período se establecen los principios que abren las puertas a la privatización de las tierras comunales, las tierras baldías y las ejidales, emitiendo algunos decretos encaminados a la eliminación de las formas de propiedad mencionadas.

Las tierras comunales y baldías fueron adquiridas por reducidos grupos de terratenientes con posibilidades económicas, dejando al margen del acceso a la tierra a sectores desposeídos, lo cual, profundizó la división social en el país. (Saquimux Canastuj, 2011)

El régimen conservador buscaba proteger los bienes colectivos que permitieran seguir con las tendencias paternalistas y excluyentes que marginaron a los habitantes de pueblos indígenas a dedicarse exclusivamente a la producción de alimentos para abastecer a la capital del país. (Gramajo, 2008, pág. 10)

² Constitución Política del Estado de Guatemala, 1825.

4. Período de 1871 a 1944

La Reforma Liberal de 1871 trajo como primer cambio significativo el impulso del café como producto agrícola nacional de exportación. Para que esto ocurriera se formularon políticas que apoyaron a los caficultores, entre las que se pueden mencionar la providencia, que consistía en la exoneración del pago de impuesto de exportación y el establecimiento de los almácigos para la distribución gratuita de plantas a los productores que no podían comprarlas. (Saquimux Canastuj, 2011)

Para consolidar al café como un producto nacional de exportación era necesario cambiar a las autoridades que administraban el Estado desde que se dio la independencia de la Corona española, por lo que el proceso revolucionario en 1871 contribuyó a “desplazar del poder a los antiguos sectores dominantes representados por los exportadores, los comerciantes y la iglesia”³

Para lograr equilibrar las fuerzas entre los terratenientes coloniales (conservadores) y la clase emergente con ambición de poder (liberales) se emitieron disposiciones para expropiar terrenos propiedad de la iglesia, se creó El Registro de la Propiedad Inmueble y se suprimieron los diezmos. (Saquimux Canastuj, 2011)

Por ser un cultivo extensivo, el café inexorablemente afectó los derechos de los pueblos indígenas, en primer lugar, por el uso de tierras comunales y ejidales que estaban bajo el control de los pueblos indígenas y al servicio de los municipios y en segundo lugar, debido a la necesidad de grandes cantidades de mano de obra, lo que promovió que se retomaran nuevamente leyes colonialistas como las de la vagancia y las habilitaciones, que eran una forma de reclutamiento forzoso de los indígenas. (Saquimux Canastuj, 2011)

Squimux (2011) hace referencia al movimiento liberal de reforma agraria liderado por el General Justo Rufino Barrios

“reforma agraria llevada a cabo por la Via Junker, la cual consiste en el paso de transición del feudalismo al capitalismo a favor de los que detentan el poder, que en vez de beneficios lo que hace es despojar a los medianos y pequeños productores del campo y pasan a ser esclavizados al

³ Ortiz Rosales (2002), Mencionado por Saquimux, Genaro (2011).

caer en la miseria, y el concepto de peculado como el proceso de enriquecimiento de terceros con recursos del Estado”

Se puede concluir que la reforma liberal de 1871 tuvo como objetivo el traslado de los medios de producción existentes desde el tiempo de la colonia hacia otro grupo reducido de terratenientes con tendencias agroexportadoras, dejando al margen a la población indígena, la cual fue nuevamente condenada a servir como mano de obra barata al servicio del poder económico de la época.

Después de la muerte del General Justo Rufino Barrios, lo suceden en el poder varios presidentes con la misma tendencia liberal, hasta llegar al gobierno del General Jorge Ubico. En este lapso de tiempo el café siguió siendo el producto de exportación por excelencia, junto con el Banano, el cual era producido por la United Fruit Company.

Para facilitar la expansión del cultivo del café, se continuó con el proceso de repartición de tierras baldías o realengas para la creación de empresas agrícolas privadas, lo cual siguió fomentando la migración estacional de trabajadores indígenas procedentes de las áreas del altiplano guatemalteco hacia fincas ubicadas en la costa sur del país. (Saquimux Canastuj, 2011)

Con respecto a esta época, Saquimux cita a Guerra Borges (2006) quien menciona:

“No obstante que la participación de la agricultura en la economía guatemalteca alrededor de los años cuarenta del siglo XX representó el 60 por ciento del producto nacional bruto, generó ocupación a más de las tres cuartas partes de la población económicamente activa y que la producción del café y el banano representó el 92 por ciento de las exportaciones, con excepción de la United Fruit Company, los terratenientes practicaban una agricultura extensiva, avara de fertilizantes y mecanización que, no obstante, producía un excedente elevado gracias al bajo nivel de salarios y la prestación gratuita de trabajo, ambas formas anticuadas que abatían los costos. La agricultura para el consumo interno procedía, por el contrario, de parcelas campesinas, de la agricultura minifundista carente de recursos y de espacio para elevar la producción y obtener algún excedente”⁴

Este escenario de polarización entre una minoría de población que concentraba cada vez más la tierra y los recursos para hacerla producir y una mayoría de población

⁴ Guerra (2006) Guatemala: 60 años de historia económica (1944-2004).

marginada, condenada a la pobreza sin posibilidades de desarrollo económica era el que se tenía cuando estalló la revolución de octubre de 1944. (Saquimux Canastuj, 2011)

5. Período de 1944 a 1954

Esta es la época en la que se propuso hacer un cambio en relación a las prácticas agrarias que se tenían en el país prácticamente de la época colonial. Inicia con la elección presidencial del Dr. Juan José Arévalo y concluye con el derrocamiento del Coronel Jacobo Arbenz, luego de la intervención extranjera. (Sandoval Villeda, 1992, pág. 222)

Una de las primeras disposiciones gubernamentales fue la Ley de Arrendamiento forzoso, la cual obligaba a los propietarios que tuvieran tierras en arrendamiento durante los últimos cuatro años a seguir arrendándolas por otros dos años más. Así mismo, la ley obligaba a los propietarios de terrenos ociosos a arrendarlos y no cobrar más del 5% del valor de la cosecha que se obtuviera en los mismos. (Sandoval Villeda, 1992, pág. 222)

Las bases para este tipo de acciones fueron establecidas en la constitución de 1945, la cual afirmaba que es “responsabilidad del Estado desarrollar actividades agrícolas y que los beneficios de las mismas deberían ir a los productores”⁵. Cabe mencionar que el Artículo 90 de esta Constitución mencionaba que “la propiedad privada debía ser reconocida y garantizada solamente si la misma llenaba su función social”⁶. Así mismo, se estipulaba que la expropiación de terrenos era legal siempre y cuando fuera de beneficio público, abolía los contratos de servidumbre en fincas y permitía la organización de campesinos y trabajadores agrícolas en sindicatos. (Sandoval Villeda, 1992, pág. 222)

Establecido este marco constitucional, se emitieron disposiciones que tenía como fin mitigar la problemática agraria de la población campesina. Algunas de estas disposiciones fueron la Ley de Titulación Supletoria y la aprobación del Código de Trabajo, el cual señalaba los procedimientos para el establecimiento de sindicatos, los

⁵ Sandoval Villeda (1992) El problema agrario guatemalteco: evolución y opciones. Pag. 222

⁶ IDEM referencia 6

cuales solamente se podía establecer en fincas en donde hubiera más de 30 trabajadores. (Sandoval Villeda, 1992, pág. 222)

No fue hasta el gobierno de Jacobo Arbenz en que se aprobó por medio del Decreto 900 una ley que tenían como objetivo cambiar las estructuras agrarias vigentes en el país. Esto afectaba sin duda a la clase terrateniente que vio como sus derechos eran restringidos a favor de la población campesina, la cual veía por primera vez un aumento en su capacidad adquisitiva debido a la obtención de tierras, lo que a su vez, abrió un importante mercado para el desarrollo de la industria primaria en el país. “Fueron estos terratenientes y las compañías extranjeras, quienes aliados, patrocinaron el derrocamiento del Gobierno que con la Ley de Reforma Agraria atentaba a sus intereses particulares, en junio de 1954.” (Sandoval Villeda, 1992, pág. 223)

6. Período de 1954 a 1996

Una vez derrocado el gobierno de la revolución, se inició una contrarrevolución e involución social, política y económica que detuvo de manera dramática el desarrollo del país, con lo cual Guatemala regresó a un pasado que se creía superado. (Herrán Alonso, pág. 2)

El nuevo gobierno abandonó por completo la reforma agraria y restableció leyes anteriores, provocando la expulsión de campesinos de los terrenos que recientemente les habían sido entregados para devolvérselos a los terratenientes. Esta medida impopular y la creciente necesidad de calmar a la población indígena, hizo que el nuevo Gobierno desarrollara un nuevo programa de distribución de tierras estatales. (Herrán Alonso, pág. 2)

Dentro de este programa se formuló el Estatuto Agrario de 1954 y la Ley de Transformaciones Agrarias de 1962 (Ley del INTA), ambas fueron los medios legales que facilitaron la devolución de las tierras expropiadas a sus anteriores dueños. Una de las novedades del Estatuto Agrario era la creación de las denominadas Zonas de Desarrollo Agrario, la cual pretendía ocupar las zonas despobladas del norte del país, dando lugar a lo que hoy se conoce como la “Franja Transversal del Norte”, el cual es un área de aproximadamente 9,000 km² que abarca los departamentos de Alta Verapaz, Huehuetenango, Izabal y Quiché. (Herrán Alonso, pág. 2)

La ley del INTA por su parte, se puede definir como una política de colonización, la cual utilizaba como medio la expropiación de las tierras ociosas del estado que en principio no eran aptas para uso agrícola, puesto que el uso actual (en aquel tiempo) era bosque tropical húmedo. Esta ley es la responsable que de 1970 a 1992 se hayan perdido aproximadamente 752,000 hectáreas de bosque para convertirse en tierras agrícolas con suelos poco profundos y fertilidad limitada. Esta repartición de tierras lejos de beneficiar a los campesinos, trajo beneficio para algunos oficiales del ejército, ganaderos, petroleras y empresas multinacionales como Exmibal, que era filial de la International Nickel Company. (Herrán Alonso, pág. 2)

Debido al constante deterioro en el nivel de vida de la gran mayoría de comunidades campesinas, durante la década de 1960 empezaron a surgir organizaciones guerrilleras, las cuales tenían como objetivo movilizar a la población rural para llevar a cabo una reestructuración radical de la sociedad guatemalteca. La respuesta de los gobiernos militares a estas demandas fue una política represiva que se agudizaría a finales de la década de 1970, utilizando estrategias como la de “tierra arrasada”, que consistía en destruir completamente a las comunidades indígenas, matando a sus dirigentes y ahuyentando a los sobrevivientes a la frontera mexicana o a reasentarse en pueblos controlados por el ejército de Guatemala. Así pues surgió un conflicto armado interno que duró 36 años y supuso un abandono total de la Reforma Agraria en beneficio de pequeños grupos vinculados con intereses comerciales a nivel internacional, lo que ha supuesto un alto para el desarrollo económico, político y social del país, condenándolo a un estado de subdesarrollo en el cual se mantiene hasta el día de hoy. (Herrán Alonso, pág. 3)

7. Período de 1996 a 2010

El 29 de diciembre de 1996, el Gobierno de Guatemala y la Unidad Revolucionaria Nacional Guatemalteca firmaron los Acuerdos de Paz Firme y duradera, dentro de los cuales tuvieron especial relevancia el Acuerdo Socioeconómico y Agrario, en donde se hacía mención de la necesidad de facilitar el acceso a tierras productivos a la población indígena campesina desposeída. (Herrán Alonso, pág. 3)

La firma de estos acuerdos hizo que a partir del año 1997 se comenzara con la creación de las instituciones que deberían atender la política agraria del país. La siguiente tabla

hace referencia a las instituciones y funciones, según los instrumentos legales de dichos acuerdos.

Tabla 1: Análisis de la institucionalidad agraria en el marco de los Acuerdos de Paz

Instrumentos legales	Instituciones	Funciones
Acuerdo Gubernativo 307 – 97	Comisión Institucional para el Desarrollo y Fortalecimiento de la propiedad de la tierra – UTJ-PROTIERRA-	Coordinación de acciones a ejecutarse dentro de los compromisos de los Acuerdos de Paz, relativos a la tenencia de la tierra.
Acuerdo Gubernativo 452-97	Dependencia Presidencial de Asistencia Legal y Resolución de Conflictos sobre la Tierra –CONTIERRA- A través del Acuerdo Gubernativo 151 – 2005, pasa formar parte de la estructura administrativa de la Secretaría de Asuntos Agrarios – SAA-.	Facilitar y apoyar la solución conciliatoria o jurídica de los problemas que se derivan del derecho de propiedad o posesión de la tierra.
Decreto 24-99	Fondo Nacional de Tierras – FONTIERRA-	Facilitar el acceso a la tierra y generar condiciones para el desarrollo rural e integral sostenible, a través de proyectos productivos, agropecuarios, forestales e hidrobiológicos.
Acuerdo Gubernativo 136 – 2002	Secretaría de Asuntos Agrarios de la Presidencia de la República -RIC-	Es la institución que dirige y coordina las actividades para la formulación, implementación y actualización de la política agraria, además, brinda atención, prevención, resolución y transformación de la conflictividad y de los conflictos derivados de la tenencia de la tierra.
Decreto 41 – 2005	Registro de Información Catastral. -RIC-	Tiene como objetivo la creación, mantenimiento y actualización del catastro nacional con base a la disposición legal que le dió origen.

Fuente: Saquimux (2011): El Desarrollo Rural en Guatemala: Análisis del Contexto Histórico y Posibilidades de implementación. Guatemala, USAC.

Saquimux (2011) quien menciona a Rosales (2002) cita:

“las instituciones señaladas no constituyen factores claves para que la población rural carente del recurso suelo pueda acceder al mismo, debido a que si el Decreto 1551 presentaba limitaciones para el desarrollo de una verdadera política agraria, los actuales instrumentos jurídicos son aún más restrictivos para la formulación de una legislación jurídica que garantice el desarrollo integral del sector rural y que a su vez promueva el desarrollo nacional incluyente en términos sociales y menos concentrador en términos de ingreso.”⁷

FONTIERRA es la institución que podría tener un mayor protagonismo en cuanto al desarrollo de la política agraria puesto que fija procedimientos para que los campesinos puedan tener posibilidades de acceso a la tierra por medio de mecanismos de compra venta. Sin embargo, este mecanismo también tiende a beneficiar a los terratenientes puesto que no se contempla la expropiación del recurso. (Saquimux Canastuj, 2011)

Según las evaluaciones de entes como la Misión de Verificación de Naciones Unidas en Guatemala (MINUGUA), son pocos los avances que se han registrado para dar solución a las causas que dan origen a que la población rural siga sumida en la pobreza, sin embargo, mencionan que hay algunas propuestas que tratan de fortalecer el agro guatemalteco, como la propuesta de política 2000-2030 presentada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) en 1999. (Saquimux Canastuj, 2011)

Refiriéndose específicamente a los lineamientos de política que propuso el gobierno de aquella época (1996-2000) Saquimux cita a MINUGUA:

“se han caracterizado por considerar el desarrollo desde una óptica sectorial, además de privilegiar los sectores productivos más rentables en detrimento de la mayoría de la población rural en situación de pobreza y pobreza extrema”⁸

⁷ (Ortiz Rosales, 2002)

⁸ (Saquimux Canastuj, 2011)

III. LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA APLICADA A LA PRODUCCIÓN ALIMENTARIA

A. La innovación agrícola en la historia

A lo largo de la historia de la humanidad, se han hecho intentos por mejorar y aumentar la variedad de alimentos existentes con el fin de satisfacer las necesidades del ser humano. La agricultura fue el medio por el cual se dieron los primeros pasos para este logro, utilizando técnicas primitivas de observación y experimentación cuyos resultados y prácticas han pasado de generación en generación desde el año 8,000 a. C. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 6)

La agricultura tradicional desarrolló diferentes métodos basados en la observación de la naturaleza. Dichos procesos eran de carácter ritual y simbólico. Muchos de estos logros fueron resultado de prácticas no intencionadas las cuales más tarde eran repetidas para obtener cosechas con las mismas características. Esto ocurrió en procesos como el de hibridación de especies vegetales las que cultivadas juntas, se cruzaron varias veces accidentalmente. Los productos híbridos surgieron muy probablemente de manera casual hecho que pudo haber ocurrido en cualquier etapa del proceso de domesticación de las plantas. (Vasey, 1992, pág. 28)

Algunas prácticas empleadas en los inicios de la agricultura son la adaptación de ciertas especies vegetales a las condiciones climáticas que se presentan en determinados periodos del año, práctica que se conoce con el nombre de rotación de cultivos. El uso de abono natural fue otro mecanismo novedoso el cual proveía de nutrientes a la tierra aumentando su fertilidad. A este tipo de agricultura donde el medio ambiente era importante para el desarrollo de los alimentos se le denomina actualmente como “agroecología” Estos y otros métodos tradicionales de la agricultura antigua, sentaron las bases del avance tecnológico que han tenido las prácticas agrícolas y que se observan en la actualidad. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 7)

A partir de 1866 se empiezan a dar avances significativos de técnicas y descubrimientos para el mejoramiento de especies comestibles. Surgieron estudios sobre herencia genética (postulados de Mendel), en los cuales se muestran las características que se pasan de generación en generación de organismos vivos. En 1870 surge la fitogenética,

la cual mediante la selección y cruce de especies vegetales logra la creación de variedades más productivas y con características de resistencia a determinadas plagas y enfermedades. Los experimentos desarrollados por Morgan de 1910 a 1922 comprobaron la existencia de genes en los cromosomas. Un hallazgo particularmente importante fue el descubrimiento del ADN por los científicos Avery, MacLeod y McCarty. La hibridación fue otro proceso empleado, cuyas raíces, son resultado de experimentos realizados en el pasado. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 8)

En 1960 el código genético fue descifrado y los estudios posteriores de Cohen y Boyer dieron inicio a la transferencia de material genético de un organismo a otro. Los cambios no sólo se dieron en el ámbito científico ya que en el periodo de 1875 a 1975 se dio un aumento en el número de habitantes del mundo. La sociedad fue considerada durante muchos años como rural; sin embargo dio un giro importante durante el siglo XX, convirtiéndose en una sociedad urbana, provocando algunos cambios en la agricultura. (Teranishi, 1978, pág. 65)

El comercio empezó a hacerse más activo, por lo que se requería innovación tecnológica para poder satisfacer las necesidades de consumidores y productores. El cambio más notorio fue dentro de la agricultura, donde existió una transición de una labor manual a convertirse en una labor de capital, dentro de la cual el empleo de maquinaria que posibilitara el aumento en la producción fue un mecanismo importante.

Un cambio más que se suscitó fue el empleo intensivo de fertilizantes los cuales se utilizaban desde 1820 cuyos componentes químico principal era el nitrógeno, cuyo uso era restringido debido al alto costo que este representaba, sin embargo, en la época posterior a la Segunda Guerra Mundial, su precio se redujo, lo cual permitió su uso en grandes cantidades. La aplicación de estos métodos en la agricultura, la cual empezaba a mecanizarse tuvo un efecto en los cambios de mentalidad de producción y almacenamiento de alimentos, pues ya no se almacenaba alimento para tiempos de escases si no que se guardaba para venderlo en épocas en donde el precio fuera mejor. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 8)

1. La Revolución Verde

El inicio de la revolución verde tiene sus orígenes en la época posterior a la Segunda Guerra Mundial, ya que al término de la misma, las industrias contaban con grandes cantidades de material militar, el cual se usó para la experimentación en el campo agrícola, dando paso a la creación de fertilizantes e insecticidas con mayores cantidades de químicos en su composición. El uso del nitrógeno en los fertilizantes significó un rotundo éxito para las empresas fabricantes y resultó ser muy beneficioso en el mejoramiento del desarrollo de distintos cultivos. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 12)

En 1968 el doctor William Gaud nombró como revolución verde al aumento que se presentaba en la producción de semillas en países en vías de desarrollo, principalmente en Asia. Las primeras semillas que fueron mejoradas por esta revolución fueron el arroz y el trigo, empleando fertilizantes y sistemas de riego. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 14)

Así pues, el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías tuvo un gran impacto en la productividad de los principales cereales de consumo mundial (arroz, trigo y maíz) los cuales aumentaron sus rendimientos debido a que se pudo aprovechar al máximo su potencial productivo. Estas mejoras fueron llevadas a distintos países a nivel mundial con la ayuda y aportaciones económicas de empresas y fundaciones principalmente norteamericanas. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 14)

La revolución verde generó diversas opiniones, algunas se apoyaban en la eficacia del desarrollo socioeconómico y el continuo avance de las técnicas agrícolas que se basaban principalmente en innovaciones científicas propiciando que las nuevas variedades de cultivos tuvieran una mejor respuesta a los fertilizantes y al riego, mejorando los rendimientos de las variedades tradicionales. La adaptabilidad que mostraban estas variedades resultaba sumamente atractiva a los agricultores, quienes se veían financieramente beneficiados por el uso de semillas mejoradas.

Los beneficios económicos que se generaban anualmente superaban por mucho los volúmenes de años anteriores. Dichos beneficios se extendía a la población en general pues se propiciaba la creación de nuevas fuentes de trabajo. Estos avances ayudaron también al tema de la lucha contra el hambre, lo cual abrió una serie de posibilidades

para distribuir semillas que contribuyeran a la disminución de la hambruna en regiones con climas muy adversos. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 15)

Dentro de las reacciones adversas que se vertían en contra de esta revolución, los argumentos se fundamentaban en la idea de que en un futuro cercano las economías agrícolas se convertirían en grandes dependientes de los métodos intensivos de producción para poder mantener las enormes cantidades de alimento que se producían. Así mismo, se hacía evidente que solamente los productores que contaban con mayores recursos económicos eran los que podían tener acceso a las tecnologías que se desarrollaban, lo cual relegaba a un segundo plano a los productores de escasos recursos.

Los países que poseían buenas tierras obtenían mayores beneficios y América Latina no era la excepción, sin embargo, únicamente los grandes terratenientes y productores tenían la posibilidad de tener acceso a estas tecnologías con lo cual relegaron a la población rural a prácticas tradicionales limitando sus posibilidades de competir en los mercados de productos relacionados. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 15)

Inicialmente, la revolución verde tuvo como objetivo detener el problema de la hambruna que se extendía en varias regiones del mundo. En los años 70 los investigadores se enfocaron en la implementación de productos y tecnologías que se pudieran emplear en tierras que presentaran problemas de suelo, plagas y condiciones climáticas poco favorables. Se pensaba que con la utilización de semillas mejoradas y técnicas innovadoras en lugares poco aptos para actividades agrícolas se propiciaría mayor producción. No obstante, pese a que se obtenían resultados alentadores, el problema económico salió a relucir, haciendo evidente que únicamente las personas con recursos podían tener acceso a este tipo de alimentos. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 16)

Un problema aún mayor derivado de la revolución verde fue el daño que se causó al medio ambiente. El establecimiento de grandes extensiones de tierra con monocultivos, propició la disminución de la diversidad genética de algunas especies vegetales, así mismo, el uso intensivo de agroquímicos afectó la calidad de la tierra, que con el paso de los años presentó problemas en su fertilidad natural.

2. Biotecnología

Luego de que la humanidad fue tomando conciencia respecto a los daños ambientales que producían el uso indiscriminado de agroquímicos, los científicos fueron innovando tecnológicamente los procesos dando origen a lo que se conoce hoy día como biotecnología. Este término fue empleado por primera vez en 1973 por dos científicos norteamericanos, Cohen y Boyer, quienes son los poseedores de la patente sobre ésta tecnología. Estos investigadores descubrieron esta técnica en un intento por descubrir formas de ayudar a pacientes con diabetes, al copiar el ADN de un organismo a otro descubrieron la insulina. La biotecnología es vista como una tecnología y no se le considera una ciencia (Da Silva, 1992, pág. 1)

La aplicación de biotecnología puede observarse en diferentes industrias y sectores, sin embargo es en el área de salud, medio ambiente y agricultura en donde se han propiciado los cambios más significativos. A partir del descubrimiento del ADN surgió la compañía denominada Genentech (1976), la cual empleaba este tipo de técnicas enfocando sus primeros productos al área farmacéutica. (Da Silva, 1992, pág. 2)

Se pueden identificar dos periodos en el desarrollo de la biotecnología, el primero se caracterizó por los avances en relación a la genética clásica donde abundaron los experimentos y descubrimientos científicos, y un segundo período, el cual es la biotecnología moderna en donde el uso de tecnología de punta y técnicas de bioprocésamiento son requisitos para tener éxito. En la ingeniería genética es de vital importancia la identificación de todos los genes posibles en un organismo así como la exactitud con la que se debe depositar en determinada célula la información genética para producir una reacción deseada. Estos pasos son necesarios para el desarrollo de organismos genéticamente modificados. Sin embargo, la revolución genética tiene un gran potencial pero no es la panacea para los pobres:

“Entre las barreras que impiden a las personas pobres acceder a la biotecnología moderna y beneficiarse plenamente de ella están: la inadecuación de los marcos reglamentarios nacionales, la complejidad de las cuestiones relacionadas con la propiedad intelectual, el mal funcionamiento de los mercados y los sistemas de distribución de semillas y la escasa capacidad nacional en materia de mejoramiento genético⁹

⁹ FAO. Biotechnology (Consultado 21 de Agosto de 2013).

Otro aspecto de la biotecnología que puede ser considerado negativo para los países en vías de desarrollo es el hecho de volverse dependientes de esta tecnología que es propiedad de los países desarrollados.

3. Organismos Genéticamente Modificados (OGM)

Los organismos transgénicos son producto de la biotecnología ya que en estos se insertan genes de otras especies para crear una nueva variedad que naturalmente no podría vivir. El desarrollo de productos por medio de la biotecnología ha ido en aumento, especialmente en Estados Unidos, que ha sido el país que más ha invertido en este rubro, cosechando avances significativos. (Da Silva, 1992, pág. 13)

Ante el rápido desarrollo que ha tenido esta tecnología, varios países han canalizado esfuerzos e inversión en la producción de OGM para el abastecimiento y mejoramiento en la calidad de sus productos. De igual forma, los científicos han aportado grandes avances a esta área al continuar las investigaciones sobre el funcionamiento y reacción de los genes.

El desarrollo de la biotecnología es uno de los mayores retos para los países en desarrollo, cuyo problema es la falta de presupuesto para apoyar los procesos de investigación. Por su parte, estos países poseen la ventaja de ser poseedores de una biodiversidad muy rica, lo cual podrá permitir en el mediano plazo, realizar experimentos con una cantidad mayor de germoplasma lo que abre la posibilidad de tener avances significativos en esta técnica y así poder negociar con países cuyo desarrollo biotecnológico avanzado pueda requerir estos materiales genéticos. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 22)

Al igual que con la revolución verde, la existencia de transgénicos se han generado opiniones encontradas en cuanto a su creación y uso a nivel mundial. Los países desarrollados, y algunos países en desarrollo están a favor de la libre comercialización y uso de transgénicos, mientras que algunos países de la Unión Europea se encuentran en contra, o exigen una legislación más estricta. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 22)

Los discursos que se vierten a favor de transgénicos tienen diferentes matices a estudiar, por ejemplo, el área de alimentos y mejoramiento de los mismos se ve beneficiado por

medio del empleo de biotecnología, ya que de esta forma pueden crear un alimento con mayores nutrientes para el consumidor al incluir en ellos características como nuevas vitaminas o minerales que naturalmente no tendría.

En el aspecto agrícola la invención de semillas cuyo crecimiento sea más rápido, resistente a las inclemencias del tiempo e incluso repelan organismos dañinos y disminuyan el uso de fertilizantes, se traduce en mayores ganancias para los productores.

En materia comercial, la venta de OGM abre la posibilidad de obtener grandes ganancias a los países productores, ya que podrían producir mayor cantidad de alimento lo que se vería reflejado en un aumento del nivel de vida de las personas que trabajan en actividades relacionadas. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 23)

En relación al medio ambiente, se ve un beneficio al necesitar menores cantidades de agroquímicos, incluso, se ha llegado a proveer nutrientes a la tierra a través de las semillas transgénicas.

Respecto a las opiniones en contra del uso de OGM, estas abarcan distintos puntos de vista en el ámbito social y económico, por ejemplo, existe un gran número de personas cuya visión sobre transgénicos es de incertidumbre y desconfianza, posición que se da principalmente porque los efectos a largo plazo de dichos organismos se desconocen. Los efectos negativos que puedan presentarse podrían tener efectos tanto en el medio ambiente como en la salud humana. (FAO, 2009)

El medio ambiente puede llegar a ser dañado por semillas transgénicas, perjudicar la tierra e incluso degradarla y causar problemas como la desertificación. Las plantas u organismos transgénicos pueden contaminar los cultivos cercanos por medio de la polinización y afectar la vida de los animales que las consumen.

La incertidumbre económica resultado de la biotecnología es un problema que se da mayoritariamente en los países que costean estas investigaciones, lo que podría significar que los países en vías de desarrollo dependan mucho de los primeros al aumentar la demanda de semillas genéticamente modificadas. El costo de importar estas

semillas puede ser muy elevado para un agricultor convencional, lo que propiciaría un rezago en el área agrícola en países como Guatemala en donde se sigue practicando ampliamente la agricultura por métodos tradicionales.

Otro problema es la regulación de los OGM, ya que según varias organizaciones los estándares son bajos y las normativas poco eficientes para su control. Aspectos como el etiquetado para definir el origen de los alimentos han sido rechazados por los principales países productores. La falta de control cuando estos organismos ya se encuentran dentro de un país y sobre todo la falta de tecnología para reconocer cuando un producto modificado genéticamente entra o sale de los distintos países. El rechazo de países productores para implementar estas medidas de precaución, la falta de control hacia los OGM cuando no existe certeza científica y la poca concordancia entre los acuerdos comerciales ya existentes dificultan que los países compradores impidan la entrada a estos productos. (Carmona Mejorada, 2004, pág. 26)

IV. HIDROPONIA, EL CULTIVO DE PLANTAS SIN USO DE SUELO.

A. Hidroponía, orígenes y tendencias

1. Definiciones

La palabra hidroponía se deriva de la combinación de dos palabras griegas, hydro que significa agua y ponos que significa trabajo. Según Word reference en español, la hidroponía es “el cultivo de plantas en ausencia de tierra, con absorción de los nutrientes de soluciones acuosas que circulan en un soporte de arena o gravilla”¹⁰. La enciclopedia en línea wikipedia define la hidroponía como “un método utilizado para cultivar plantas usando soluciones minerales en vez de suelo agrícola”¹¹. The new Encyclopaedia Britannica, dice que la hidroponía “es el cultivo de plantas en una solución acuosa rica en nutrientes con o sin el soporte mecánico de un medio inerte como la arena o la grava”.¹²

Si se analizan las definiciones anteriores se puede deducir que tienen un aspecto en común que es el crecimiento de las plantas en medios sustitutos del suelo que utilizan como fuente de nutrientes soluciones acuosas enriquecidas y utilizan medios inertes para dar soporte a las raíces. Es importante mencionar que en la búsqueda de definiciones hidropónicas se han encontrado algunos sinónimos tales como acuacultura, hidrocultura y nutricultura.

2. Historia

El cultivo de plantas en soluciones acuosas ha sido practicada por siglos, un ejemplo de esto son los jardines colgantes de Babilonia y los jardines flotantes de los Aztecas en México. Fue en la primera década de 1800 cuando se establecen los conceptos básicos de la hidroponía derivado las investigaciones para entender mejor el crecimiento de las plantas. Esta tendencia fue impulsada masivamente en 1930 por varias publicaciones hechas por científicos californianos.

¹⁰ (WordReference.com, 2013)

¹¹ (Wikipedia, 2013)

¹² (Encyclopaedia Britannica, 2013)

Durante la Segunda Guerra Mundial, el ejército de los Estados Unidos construyó jardines hidropónicos en varias islas del Pacífico Oeste con el fin de proveer vegetales frescos a las tropas que operaban en el área. Ya en la década de 1980, la técnica hidropónica había adquirido un buen valor económico para los productores de vegetales y flores, y en el año 1995 se estimaba que había aproximadamente 25,000 hectáreas de invernaderos productores de vegetales con técnicas hidropónicas en todo el mundo. (Jensen & Malter, Protected Agriculture: A Global Review, 1995)

En la publicación del año 2004 la Hydrponic Merchants Association (HMA) reportó más de 20,000 hectáreas de invernaderos con sistemas hidropónicos a nivel mundial de las cuales 400 hectáreas se ubican en los Estados Unidos, 850 hectáreas en Canadá y 1,100 hectáreas en México. En estos tres países el 68% de la producción es tomate, 15% pepino y 17% es pimiento. (HMA , 2004, pág. 3)

3. Ventajas y Desventajas

En 1971, Jensen¹³ hizo una lista de ventajas y desventajas de la técnica hidropónica empleada para la producción de cultivos, muchas de las cuales están vigentes al día de hoy.

i. Ventajas

- Se pueden establecer cultivos donde los suelos están degradados o contaminados.
- Las prácticas de preparación mecánica de suelos, desinfección y otras prácticas relacionadas se reducen considerablemente.
- Se puede inducir el máximo rendimiento de los cultivos, lo cual hace que el sistema sea económicamente factible en terrenos de alto valor.
- Una de las características de los sistemas hidropónicos es la conservación de agua y nutrientes, lo cual disminuye la contaminación de los ríos y tierras porque los componentes químicos son aprovechados por las plantas.
- Las enfermedades que se propagan por el suelo son fáciles de erradicar, puesto que se puede inyectar el “remedio” en sistemas hidropónicos cerrados.

¹³ (Jensen, The use of Polyethylene Barriers Between Soil and Growing Medium in Greenhouse Vegetable Production., 1971)

- Se tiene un control bastante completo del ambiente de crecimiento de las plantas principalmente en sistemas de invernadero si por ejemplo: las condiciones de la raíz y el tiempo de irrigación o proporción de nutrientes en la solución, cantidad de luz, temperatura, humedad y velocidad del viento.
- El horticultor novato puede adaptar sistemas hidropónicos en casa utilizando los espacios de patios e incluso en terrazas de edificios.

ii. Desventajas

- Alto costo inicial de construcción de sistemas hidropónicos por hectárea.
- Se necesita personal especializado para dirigir la operación. Se necesita conocimiento acerca de los principios de nutrición y fisiología vegetal.
- Si no se tienen los controles adecuados, es muy fácil que todas las plantas se vean contaminadas por plagas y enfermedades principalmente en sistemas cerrados.
- Muchas de las plantas cuyo cultivo permite el uso de técnicas hidropónicas deben ser sometidas a investigación constante para encontrar el balance óptimo de nutrientes a proveer.
- Las reacciones de la planta a condiciones nutricionales ricas o pobres son increíblemente rápidas por lo que se debe observar el estado de las plantas todos los días.

4. Sustratos

Los sustratos tienen como función principal proporcionar a los cultivos un medio mecánico de anclaje, el cual también contribuye a retener algunos elementos de la solución nutritiva. Este sustrato debe ser lo suficientemente fino para mantener un nivel de humedad, pero no debe ser tan fino como para permitir una aireación eficiente. Tiene que ser inerte, es decir, que no reaccione con los elementos de la solución nutritiva, no debe tener sustancias que puedan ser tóxicas para las plantas y se debe evitar en lo posible que esté contaminado con materia orgánica ya que esto puede favorecer la incidencia de enfermedades. (De Leon, 2008, pág. 13)

Los sustratos deben tener una buena resistencia al desgaste, es preferible que no tengan sustancias minerales solubles para evitar alterar el balance químico de la solución

nutritiva. El material debe evitar ser portador de formas de vida microscópicas para disminuir el riesgo de propagar enfermedades a las plantas. (Marulanda, 2003, pág. 46)

Otras características de los sustratos hidropónicos mencionadas por Marulanda son las siguientes:

- Que las partículas que lo componen tengan un tamaño no inferior a 0.5 mm y no superior a 7 mm.
- Que retengan una buena cantidad de humedad, pero que además faciliten la salida de los excesos de agua que pudieran caer con el riego o con la lluvia.
- Que no retengan mucha humedad en su superficie.
- Que no se descompongan o se degraden con facilidad
- Que tengan preferentemente coloración oscura.
- Que no contengan elementos nutritivos.
- Que no contengan micro organismos perjudiciales a la salud de los seres humanos o de las plantas.
- Que no contengan residuos industriales o humanos
- Que sean abundantes y fáciles de conseguir, transportar y manejar.
- Que sean de bajo costo.
- Que sean livianos

Dependiendo de la composición de los sustratos se pueden clasificar en orgánicos e inorgánicos. Los sustratos de origen orgánico que se utilizan con mayor frecuencia en América Latina son la Cascarilla de Arroz y el Aserrín o viruta desmenuzada de maderas amarillas. (Marulanda, 2003, pág. 47)

Cuando se utiliza aserrín, se debe tener cuidado que no sea de pino ni de maderas rojas, porque contienen sustancias que pueden ser dañinas para las raíces. En el caso de que solo se puedan conseguir aserrín de este tipo de maderas, se debe lavar con agua abundante para posteriormente dejarlo fermentar antes de poderse utilizar. Preferiblemente, este aserrín no se debe utilizar en una proporción mayor al 20% de la mezcla total. En el caso de la cascarilla de arroz, es indispensable lavarla y dejarla fermentar durante 10 a 20 días dependiendo el clima en donde se utilizará; por lo

general se necesitan menos días para regiones con clima cálido. (Marulanda, 2003, pág. 47)

Dentro de los sustratos de origen inorgánico se pueden utilizar las escorias de carbón mineral quemado, escorias o tobas volcánicas, arenas de ríos o corrientes de agua limpia que no tengan mucho contenido salino, grava fina y maicillo.

Si se utilizan escorias de carbón, tobas volcánicas o arena de río, se deben lavar por lo menos cuatro o cinco veces en recipientes grandes, lo cual se hace para eliminar las partículas que flotan. El sustrato puede considerarse listo para utilizarse cuando el agua con que se hace el lavado sale clara. (Marulanda, 2003, pág. 47)

Hay escorias de carbón o tobas volcánicas que poseen niveles de acidez altos, caso contrario de algunas arenas. Estos materiales se deben lavar con cuidado para garantizar la remoción de materiales que los hagan muy ácidos o muy básicos. Si no es posible lograr que el pH de estos materiales se acerque a la neutralidad (pH=7) lo mejor es excluirlas, puesto que pueden tener un efecto negativo en la solución nutritiva. (Marulanda, 2003, pág. 48)

Los materiales que se mencionan en esta sección se pueden utilizar solos o en mezclas. Marulanda, 2003 recomienda la utilización de las siguientes mezclas de materiales para más de 30 especies de plantas que se cultivan en América Latina y El Caribe.

- 50% de cáscara de arroz con 50% de escoria de carbón
- 80% de cáscara de arroz con 20% de aserrín
- 60% de cáscara de arroz con 40% de arena de río
- 60% de cáscara de arroz con 40% de escoria volcánica

5. Sistemas hidropónicos

Según el sitio Web Nutriculture.es¹⁴ los sistemas hidropónicos pueden clasificarse como activos o pasivos.

¹⁴ (Nutriculture, 2013)

i. Hidroponía activa

Se caracteriza porque generalmente las producciones que se obtienen son grandes, con sistemas de nutrición y riegos automatizados. Estos sistemas utilizan bombas hidráulicas para hacer circular la solución nutritiva directamente hacia las raíces. Lo que la planta no aprovecha, simplemente se drena al exterior. Los cultivos que se producen utilizando este sistema tienen un acceso constante al agua y nutrientes, de modo que no deberían presentar deficiencias por ausencia de solución nutritiva, lo que garantiza el crecimiento a un ritmo óptimo. Cabe destacar que en este tipo de sistemas las raíces tienen un acceso óptimo al oxígeno porque el medio en el que se desarrollan no absorbe ni retiene agua y nutrientes. En conclusión se puede decir que en el sistema de hidroponía activa el suministro constante de oxígeno, agua y nutrientes da como resultado el mayor crecimiento posible, con plantas más sanas y mayores producciones. (Nutriculture, 2013)

ii. Hidroponía Pasiva

En este tipo de sistemas la solución nutritiva está disponible para los cultivos gracias a la acción capilar que se da en el medio de crecimiento alrededor de las raíces, generalmente no se utilizan bombas para hacer que la solución nutritiva llegue a las plantas. A pesar de que es más efectiva que los métodos de cultivo tradicionales, el sistema hidropónico pasivo utiliza sustratos que absorben agua, lo cual reduce la cantidad de oxígeno de la zona radicular. Las personas que quieran ganar experiencia en sistemas hidropónicos y dejar de lado los cultivos en macetas y bandejas con tierra y riego manual, pueden aventurarse a utilizar alguno de estos sistemas. (Nutriculture, 2013)

6. Perspectivas y futuro de la Hidroponía

Durante años las técnicas hidropónicas han servido para tener una mejor comprensión en el campo de la nutrición mineral de las plantas; tal como se ha mencionado en párrafos anteriores, la primera producción efectiva a gran escala ocurrió durante la Segunda Guerra Mundial. Hoy en día la hidroponía es el método más intensivo de producción hortícola; generalmente es de alta tecnología y de fuerte inversión de capital, y viene siendo aplicada exitosamente con fines comerciales en países desarrollados.

En los últimos diez años, el área destinada a cultivos hidropónicos se ha incrementado cuatro a cinco veces a nivel mundial (aproximadamente 20,000 hectáreas) de las cuales aproximadamente el 80% son cultivadas solo por 10 países. Holanda es el país que lidera este tipo de producción, utilizando especialmente sistemas de riego por goteo con sustrato de lana de roca y el sistema NFT. Los cultivos hidropónicos más rentables son el tomate, pepinillo, pimiento, lechuga y flores cortadas. (una-gauchada.com, 2013)

El incremento en el uso de técnicas hidropónicas en Latinoamérica dependerá mucho del desarrollo y adaptación de sistemas menos sofisticados de producción que sean competitivos en costos con respecto a la tecnología sofisticada generada en países desarrollados. Una considerable disminución de las áreas de tierras agrícolas en países en vías de desarrollo, hace de la hidroponía una interesante alternativa de producción en zonas urbanas y periurbanas.

Dentro del contexto de la llamada agricultura urbana, la hidroponía puede ser muy bien aplicada en las ciudades con tecnologías más sencillas y de bajo costo, principalmente en zonas de extrema pobreza, como una manera de incentivar el autoconsumo de hortalizas y de apoyar el ingreso familiar a través del autoempleo en las propias viviendas o en los centros comunales (una-gauchada.com, 2013)

B. Los sustratos hidropónicos y el suelo

Benton 2005, menciona que “científicamente hablando, el crecimiento de las plantas en cualquier medio, incluyendo el suelo, es hidropónico, ya que los elementos que absorbe la planta por las raíces se hace en presencia de agua”. La concentración y movimiento de los elementos dentro de la solución del suelo¹⁵ depende de la naturaleza del medio, en este caso el suelo. Por ejemplo, en la solución del suelo su composición es el resultado de muchos factores que interactúan entre sí, los cuales constituyen un sistema dinámico en constante equilibrio químico en el cual el suelo, los microorganismos y la raíz juegan un papel único y específico que influye en la disponibilidad y absorción de los nutrientes requeridos para el crecimiento de las plantas. (Benton, 2005, pág. 15)

¹⁵ Este concepto se refiere a la mezcla entre suelo y agua y las relaciones químicas que ahí ocurren.

En el suelo, la absorción de nutrientes tiene relación directa con el movimiento de los mismos dentro de la solución del suelo y el crecimiento de las raíces. Al movimiento de los nutrientes dentro de la solución del suelo se le llama “flujo de masa”, el cual puede acarrear elementos hacia la raíz o fuera de ella por efecto del movimiento del agua en el suelo. Lo anterior se debe a que dentro de la solución del suelo los elementos se mueven de regiones con alta concentración a regiones con menor concentración como resultado del proceso llamado difusión. (Benton, 2005, pág. 15)

Por tanto, cuando los iones de algún elemento son absorbidos por las raíces de las plantas se crea un gradiente en la concentración de nutrientes lo que se constituye como un mecanismo de reposición de iones. Así mismo las raíces juegan un papel importante en la absorción de nutrientes, ya que mientras más grande sea el área de contacto de la raíz con el suelo, mayor será el flujo de masa de nutrientes hacia las zonas con menor concentración de nutrientes cerca de la raíz.

La complejidad química de la solución del suelo se simplifica considerablemente cuando el medio de soporte de las plantas es una sustancia inerte, tal como lo es la arena, grava, perlita o roca de lana, y se simplifica aún más cuando las raíces de las plantas están únicamente sumergidas en una solución nutritiva, como en el caso de la aeroponía y la técnica de la solución nutritiva recirculante.

El movimiento de nutrientes que se da en la solución nutritiva utilizada en las técnicas hidropónicas actúa como el flujo de masa en el suelo, por lo que el impacto de la difusión y la extensión de la raíz en la absorción de los nutrientes también se reducen. Cabe mencionar que en un sistema planta-suelo, solo una pequeña porción del suelo tiene contacto físico con las raíces, mientras que en la mayoría de sistemas hidropónicos, las raíces están expuestas casi en su totalidad a la solución nutritiva. Esta exposición masiva de las raíces tiene ventajas, pero también algunas desventajas.

Hay quienes consideran que un sistema planta-suelo es un sistema “fuera de control”, mientras que la hidroponía es un “sistema controlado”. Esta parece una afirmación razonable a primera vista, aunque no es 100% cierta en la práctica. Un sistema planta-suelo es de hecho difícil de controlar debido a la complejidad de las interacciones orgánicas, inorgánicas y biológicas del suelo. Las plantas que crecen en el suelo

compiten entre sí por los nutrientes de la solución del suelo junto a otros organismos (bacterias, hongos, etc.) presentes en el suelo. Estas interacciones pueden minimizarse en un sistema hidropónico ya que el agricultor puede regular la composición de la solución nutritiva y así, controlar el crecimiento de la planta en un alto porcentaje. (Benton, 2005, pág. 16)

El mayor reto para el agricultor hidropónico es controlar la composición de la solución nutritiva pues aquí cualquier error en la formulación puede tener un efecto adverso en el crecimiento de la planta caso que no ocurre si se comete un error en el uso y aplicación de fertilizantes en el suelo, pues este actúa como un “amortiguador” que puede ser benéfico para el crecimiento de las plantas. Este efecto amortiguador se da por las interacciones que ocurren entre la capacidad de intercambio catiónico que se dan entre la materia orgánica y los materiales coloidales presentes en el suelo. (Benton, 2005, pág. 17)

En conclusión, el objetivo de los sistemas hidropónicos es replicar de cierta manera lo que ocurre en el suelo, manteniendo un nivel constante de nutrientes disponibles para la planta que no sea ni deficiente ni excesivo.

C. Nutrición Vegetal

1. La función de la raíz en el crecimiento de las plantas

Las funciones principales de la raíz son: a) La absorción de los elementos nutritivos existentes en el suelo y b) La fijación de la planta al medio en que se desarrolla. Sin embargo, en algunos casos tal como ocurre con los tubérculos (papas y yuca) puede ser un depósito de reservas alimenticias. (Carolina Garden, 2013)

El proceso de absorción de nutrientes se realiza principalmente por los denominados pelos absorbentes, los cuales son terminaciones muy finas que se encuentran en los extremos de la raíz. La raíz exhala anhídrido carbónico el cual, combinado con el agua que se encuentra en la solución nutritiva, reacciona para formar moléculas de ácido carbónico que ayudan a hacer que los minerales que se encuentran en forma insoluble estén disponibles en la solución del suelo, facilitando la absorción por medio de la raíz para posteriormente ser utilizados en la nutrición de las plantas. Las raíces son en su

mayoría órganos subterráneos, pero también pueden existir en medios acuáticos o aéreos. Están dotadas de un geotropismo positivo, es decir, que siempre crecen en dirección al centro de la tierra. (Carolina Garden, 2013)

Para que el agua con nutrientes sea absorbida por la raíz, ésta debe ser completamente funcional. La tasa de absorción de agua por la raíz se reduce cuando baja la temperatura de agua, cuando se incrementa la cantidad de iones circundantes y cuando se reduce la cantidad de oxígeno disuelto. Tanto en el suelo como en sustratos, una mayor cantidad de raíces contribuye a aumentar la capacidad de absorción de nutrientes de las plantas, mientras que en un sistema hidropónico, esta masa no es un factor determinante. El estado nutricional de la planta puede ser un factor, ya que una planta saludable y en pleno crecimiento proporcionara los carbohidratos necesarios para mantener a las raíces en óptimas condiciones.

Cabe mencionar que un adecuado contenido de oxígeno en el medio en que se desarrollan las raíces es fundamental para el crecimiento de las células. Si no hay suficiente oxígeno disponible, la planta puede dañarse severamente e incluso morir. Esto se debe a que la energía que utiliza la planta para el crecimiento de la raíz y absorción de iones se deriva del proceso llamado respiración, que es un proceso que se da en presencia de oxígeno, por lo que si no se encuentra en las cantidades adecuadas la absorción de iones y agua se detiene y por lo tanto, la planta muere. (Benton, 2005, pág. 25)

Otro factor importante que tiene que ver directamente en el crecimiento de la raíz y la absorción de nutrientes es la temperatura. No existe una temperatura óptima definida ya que ésta varía dependiendo de las especies, pero en general, se estima que temperaturas menores de 20° C y mayores a 35° C pueden inducir a bajar la tasa de absorción de agua y nutrientes. (Benton, 2005, pág. 25)

2. Elementos esenciales

A través de los años, varios términos se han empleado para clasificar aquellos elementos que son esenciales para el crecimiento de las plantas. Esta terminología puede llegar a ser confusa para aquellas personas que no están inmersas en el tema de nutrición vegetal. Sin embargo, para fines prácticos se puede concluir que tanto el uso de

elementos esenciales, elementos o nutrientes son sinónimos cuando se está haciendo referencia al tema de nutrición vegetal.

Los investigadores de este tema han desarrollado un conjunto de términos para clasificar los 16 elementos definidos como esenciales para el crecimiento de las plantas. Están por ejemplo los denominados “elementos mayores”, que son aquellos que se encontraban en mayores proporciones en los tejidos de las plantas e incluyen C, H, N, O, P y K y los llamados elementos secundarios, tales como el Ca y Mg que en muchos libros pueden ser incluidos como elementos mayores. (Benton, 2005, pág. 30)

Aquellos elementos que se encuentran en proporciones muy pequeñas en principio se denominaron elementos menores o trazas, dentro de los que se pueden encontrar el B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, y Zn. Recientemente, estos elementos han cambiado su nombre a “micro elementos”, que es un término que se ajusta mejor a las proporciones en los que éstos se encuentran en relación a los elementos mayores. Importante es mencionar que debido a sus características químicas, los micro elementos también suelen llamarse metales pesados, ya que tienen una densidad mayor a 50 mg/cm^3 . (Benton, 2005, pág. 30)

Para considerar que un elemento es esencial en la nutrición de las plantas la Universidad de California en 1939 estableció tres requerimientos los cuales son:

1. La omisión del elemento provoca crecimiento anormal, impide completar el ciclo de vida y produce la muerte prematura de la planta.
2. El elemento debe ser específico y no reemplazable por otro.
3. El elemento debe ejercer un efecto directo en el crecimiento o metabolismo de la planta.

Los criterios antes mencionados han fijado en 16 el número de elementos y se prevé que en el futuro cercano no se encontrarán más elementos que reúnan las condiciones antes mencionadas. (Benton, 2005, pág. 32)

Tabla 2: Lista de Elementos esenciales utilizados por las plantas por forma de utilización y función bioquímica.

Elementos Esenciales	Forma de Utilización	Función Bioquímica en Plantas
C, H, O, N, S	En las formas CO ₂ , HCO ₃ , H ₂ O, O ₂ , NO ₃ , NH ₄ , N ₂ , SO ₄ , SO ₂ , en su forma Iónica en la solución del suelo y la atmósfera.	Son los constituyentes principales de la materia orgánica; tienen funciones en procesos enzimáticos y los procesos de óxido-reducción.
P, B	Como Fosfatos, ácido bórico, o borato en la solución del suelo.	Esterificación con grupos de alcoholes en las plantas, los esteres de fosfato son parte activa en las reacciones de transferencia de energía.
K, Mg, Ca, Mn, Cl	En su forma iónica en la solución del suelo.	Funciones no específicas para definir el potencial osmótico, reacciones más específicas en las cuales los iones forman una óptima conformación de una enzima o proteína (activación enzimática); balanceo de aniones, controlan la permeabilidad de la membrana celular y el potencial eléctrico.
Fe, Cu, Zn, Mo	En su forma iónica o como quelatos en la solución del suelo.	Presentes predominantemente en formas quelatadas incorporadas en grupos prostéticos, activa el transporte de electrones por las cargas de valencia.

Fuente: Mengel, K. y Kirkby, E.A., 1987, Principle of Plant Nutrition, 4td. Ed., International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland.

i. Explicación de términos

Los elementos mayores, C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S, existen en porcentajes relativamente grandes en la materia vegetal seca, mientras que los micronutrientes existen en porcentajes que van desde 0.01% o menos, por lo que para evitar confusiones al usar decimales en la concentración de los micronutrientes, éstas se expresan en microgramos por kilogramo (mg/kg) o partes por millón (ppm). El conocimiento de la concentración de los elementos en partes específicas de la planta en diferentes estados del crecimiento, brinda valiosa información para definir su estado nutricional. (Benton, 2005, pág. 34)

ii. Función

Los roles primarios y secundarios de los elementos esenciales se describieron de manera general en la Tabla No.2. Algunos elementos forman parte de los constituyentes de las

plantas, por ejemplo, el N y S son parte fundamental de las proteínas, algunos sirven como activadores de enzimas (K, Mg, Cu, Mo, Zn), otros participan en las reacciones de la transferencia de energía (P y Fe), sirven para equilibrios osmóticos (k). Algunos tienen roles específicos y otros tienen funciones diversas. (Benton, 2005, pág. 35)

iii. Síntomas de Deficiencia

Hay mucha literatura que describe los síntomas visuales de deficiencia de nutrientes en plantas utilizando fotografías para ilustrar estos problemas en distintas etapas de crecimiento. Hay que recordar que los síntomas visuales no son los mismos para todas las plantas. En algunos casos, la evaluación visual puede no ser suficiente para determinar el problema y puede resultar confusa para aquellas personas que no tengan experiencia con las técnicas de diagnóstico. Para poder confirmar la sospecha de una deficiencia lo mejor es acompañar la observación en campo con la recolección de algunas muestras de tejido, que en la mayoría de los casos pueden ser hojas, las cuales se deben enviar al laboratorio para analizar e interpretar los resultados. (Benton, 2005, pág. 35)

iv. Síntomas de exceso

Los síntomas de exceso de nutrientes no son fácilmente identificables a través de una evaluación visual. Algunos investigadores sostienen que los síntomas de exceso de nutrientes no son muy diferentes a los de la deficiencia de algún elemento, particularmente para micronutrientes. Algunos elementos pueden llegar a acumularse en niveles que exceden el requerimiento fisiológico de las plantas, pero no afectan de manera negativa a la planta. Sin embargo, se conoce que cuando la concentración va más allá de los requerimientos fisiológicos de la planta se puede crear algún tipo de toxicidad, la cual interfiere con algunas funciones generales o específicas de la planta.

La toxicidad puede ocurrir en la superficie de la raíz si un elemento está presente en grandes concentraciones en las cercanías de la zona de absorción. El exceso de un solo elemento puede provocar un desbalance entre uno o más elementos, dando como resultado un efecto tóxico en términos de las funciones normales de la raíz y el crecimiento de las plantas. La influencia combinada de iones en la solución del suelo, puede cambiar la conductividad eléctrica o el pH de la solución cercana a la raíz. (Benton, 2005, pág. 36)

D. Técnica de la Solución Nutritiva Recirculante (NFT)

El sistema NFT -Nutrient Film Technique- por sus siglas en inglés, se desarrolló en la década de los 60 en Inglaterra por el Glasshouse Crop Research Institute. Es un sistema tipo cerrado, pues su principio de funcionamiento consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, no existiendo pérdida o salida al exterior de dicha solución. Este sistema es utilizado en países europeos para cultivar hortalizas en invernadero para consumo en fresco con una alta calidad. (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 13)

Una de las principales ventajas que presenta este sistema es la excelente eficiencia en la utilización de los nutrientes para el crecimiento de las plantas ya que maximiza el contacto directo de las raíces con la solución nutritiva, la cual, es renovada constantemente lo que contribuye al crecimiento óptimo de las plantas. La ausencia de sustrato evita las labores de desinfección y permite el establecimiento y una alta densidad en el establecimiento de los cultivos. No obstante, la mayor desventaja que presenta este sistema es la elevada inversión inicial, la cual requiere materiales costosos y personal calificado que tenga nociones básicas de química para la preparación de las soluciones nutritivas. (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 13)

1. Materiales necesarios para implementar un sistema NFT

Carrasco 1996, simplifica la lista de elementos fundamentales de un sistema NFT mencionando los siguientes:

- Estanque colector.
- Canales de riego
- Bomba de agua
- Tubería de distribución
- Tubería colectora

i. Estanque Colector

Su función es almacenar la solución nutritiva que circula por el sistema. Puede ser de distintos materiales, sin embargo es necesario realizar alguna prueba previa para ver conocer si hay alguna reacción con los nutrientes. Generalmente se deben evitar los recipientes metálicos, idealmente debería ser de PVC o fibra de vidrio para sustancias

tóxicas. Así mismo, un factor determinante en la elección del estanque es el número de plantas y especies a cultivar, ya que diferentes especies tienen diferentes requerimientos hídricos. En el caso específico del tomate, Carrasco 1996, menciona que una planta en verano y en su etapa productiva máxima consume aproximadamente 2.5 litros por planta por día de solución nutritiva diluida, es decir, agua más solución concentrada.

Mientras más pequeño sea el estanque, más rápido disminuirá la cantidad de solución nutritiva y por tanto, habrá que hacer correcciones con una mayor frecuencia, por lo que se tiene que optar por el uso de tanques que por lo menos dupliquen los requerimientos diarios del cultivo. Otro aspecto importante a considerar es que el tamaño del tanque influirá de manera directa en los cambios de temperatura del agua en zonas en donde se registran fluctuaciones importantes en las temperaturas del día y la noche, que pueden dañar irreversiblemente las raíces de los cultivos.

Es importante tener en cuenta la protección del estanque para evitar que la luz solar entre en contacto con la solución nutritiva, por lo que de preferencia debe permanecer cubierto para evitar el desarrollo de algas, las cuales consumen el oxígeno de la solución y aumentan la degradación de los compuestos químicos y propician la contaminación por restos orgánicos. (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 17)

ii. Canales de riego

Dado que el sistema hidropónico de la Solución Nutritiva Recirculante utiliza directamente agua con sales minerales disueltas, los canales de cultivo cumplen dos funciones importantes, la primera es que sirven de base para colocar los recipientes que proporcionan sustento a la planta y la segunda es que permiten que la solución nutritiva pase de forma expedita a través de ellos. La literatura sugiere que el canal tenga una base rectangular y que sean de materiales lisos para facilitar el desplazamiento de la solución a través de los canales de riego.

Para el caso del cultivo del tomate, Carrasco 1996 menciona que se deben implementar canales que permitan mantener tanto a las planta de mayor desarrollo aéreo y radical, como también a sus contenedores. (Ver imagen X en anexo.)

Se recomienda trabajar con mangas abiertas de polietileno coextrusado, el cual, es un material que permite su reutilización ya que se puede limpiar antes de establecer el siguiente cultivo. (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 20)

iii. Bomba de agua

Este es uno de los componentes principales, puesto que la elección de las características puede reducir los costos de operación del sistema. La función primordial es distribuir el agua del tanque colector hacia los canales de riego, manteniendo un flujo constante de solución nutritiva en el sistema.

La elección de una bomba que se adecue a las necesidades específicas del sistema, tomando en cuenta la especie y el tamaño de la plantación es primordial, ya que afectará de manera directa la inversión inicial y los costos de mantenimiento y operación.

Carrasco 1996, recomienda tomar en cuenta los siguientes aspectos para la selección de una bomba adecuada al sistema:

- Solidez y calidad de los componentes del motor y bomba. Con la utilización de una bomba sólida y constituida por elementos de buena calidad se permitirá resistir una gran cantidad de horas de funcionamiento, como lo son las requeridas para cualquier especie que se establece utilizando el sistema NFT.
- Resistencia de la bomba a la acción corrosiva de la solución nutritiva a través del tiempo. Si la bomba no es resistente a la corrosión, la vida útil de ésta disminuirá rápidamente, por lo cual se deberán reponer frecuentemente los elementos deteriorados para mantener su operación.
- Caudal de operación en relación a la altura manométrica requerida y eficiencia. Dado que en general existe una escasa diferencia de altura entre el nivel mínimo de solución nutritiva dentro del estanque y el punto más alto de los canales de cultivo, la bomba deberá ser capaz de impulsar eficientemente un caudal máximo equivalente al producto del caudal que se maneja para cada canal de riego (2 a 3 litros por minuto) por el número de canales de cultivo. Se sugiere que este valor se aumente un 20% como margen de seguridad frente a mayores demandas de alguna especie que se cultive eventualmente en el sistema.

iv. Tubería de distribución

La solución nutritiva se distribuye desde el tanque colector por medio de la bomba a través de tuberías y mangueras de PVC hacia los canales de riego. Los diámetros requeridos para la tubería dependen del volumen de solución que éstos deben transportar, sin embargo, como el flujo requerido no supera los 2 a 3 litros por minuto, 1 pulgada de diámetro es un tamaño adecuado. Para superficies pequeñas (menores a 100 m²) no es necesario utilizar tuberías de PVC, pudiendo utilizar mangueras de jardín con diámetros que oscilan entre 1 y 2 cm, mientras que para superficies mayores, es recomendable la utilización de tubería PVC. (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 24)

v. Tubería colectora

Esta es la que capta la solución nutritiva que ha pasado a través de los canales de riego y la lleva de nuevo al tanque colector. Se localiza en el extremo inferior de los canales de riego, lo cual permite que la gravedad sea la que haga el trabajo de retornar la solución nutritiva al tanque colector. Esta circulación de la solución nutritiva permite la oxigenación de la misma. Los materiales utilizados son tuberías de PVC o canaletas de plástico o madera recubiertas. El diámetro de la tubería debería ser igual o mayor al ancho del canal de riego, ya que la acumulación de raíces de las plantas del borde podría taparla. (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 24)

2. Aspectos técnicos para el diseño del sistema NFT

i. Altura de la lámina de la solución nutritiva

La altura de la lámina de solución no debe alcanzar una altura mayor a 4 o 5 mm, lo cual asegura la oxigenación de la solución y por consiguiente de las raíces del cultivo. Esta capa fina de solución también asegura que las raíces no estén completamente sumergidas en la misma, lo cual asegura que las mismas no se asfixien. Es importante considerar la forma del canal de riego dependiendo el tipo de cultivo; en general se recomienda utilizar canales de sección rectangular ya que éstas facilitan la obtención de una lámina de solución uniforme y una distribución transversal de las raíces. (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 26)

ii. Flujo de la solución nutritiva

Se recomienda un flujo mínimo de 2 litros por minuto en cada canal de riego para mantener una altura adecuada de la lámina de solución nutritiva. Este caudal asegura la

circulación adecuada de nutrientes y oxigenación de raíces al inicio del ciclo de cultivo, sin embargo, conforme las plantas van creciendo, las raíces crecen de tal manera que se entrecruzan las de una planta con otra, originando una masa que según la literatura se denomina “colchón de raíces”. Dicho colchón representa un obstáculo para la circulación de la solución nutritiva y la absorción de nutrientes. Adicionalmente, estos colchones de raíces favorecen la acumulación de sales y la muerte sectorizada de raíces al no recibir una adecuada solución nutritiva, por lo que si se detecta algún síntoma, se debe aumentar el flujo del caudal dentro de los canales de riego. (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 27)

iii. Oxigenación de la solución nutritiva

La oxigenación de la solución nutritiva se produce por la circulación de la misma a través de los canales de riego y principalmente a través de la caída de la solución al tanque colector, en donde la turbulencia producida por la caída del agua permite una adecuada aireación, por tanto, la literatura recomienda dejar una distancia de al menos 50 cm de caída entre la tubería colectora y el nivel máximo del agua de estanque colector. (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 28)

iv. Inclinación de de los canales de riego

Sirve para hacer que la solución fluya a un ritmo adecuado por los canales de riego y luego hacia la tubería colectora. La literatura recomienda que la inclinación sea aproximadamente 2%. Pendientes superiores a 4% tienden a dificultar la absorción de agua y nutrientes, mientras que pendientes menores de 2% no permiten el adecuado retorno de la solución al tanque colector así como también propician aumentos en la altura de la lámina de solución nutritiva. En el caso de que la especie forme un colchón de raíces abundantes es justificable aumentar la pendiente para evitar el estancamiento de la solución. (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 29)

Adicional de la pendiente longitudinal de los canales de riego, debe existir una pendiente transversal de los canales colectores de la solución, la cual debe ser mayor para facilitar que el caudal de todos los canales de riego fluya rápidamente hacia la tubería colectora.

v. Longitud de los canales de riego

Conforme la solución nutritiva va pasando a través de las raíces, ésta va perdiendo nutrientes y oxígeno por lo que se recomienda que el largo máximo de los canales de riego no exceda los 15 metros. Si se excede esta longitud se corre riesgo que las plantas ubicadas al final del canal tengan no reciban cantidades adecuadas de nutrientes y por tanto el crecimiento sea menor o incluso puedan provocar la muerte de las mismas. (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 29)

E. Aspectos relevantes del cultivo de tomate.

1. Importancia económica del tomate en Guatemala

El tomate es un cultivo que se adapta muy bien a lugares con características de temperaturas templadas o semicálidas. Según la información procesada por el MAGA en 2002¹⁶ los departamentos con áreas aptas para producción de tomate a nivel nacional son las siguientes:

Cuadro 1: Áreas aptas para el desarrollo del cultivo de Tomate por Departamento en Guatemala

Departamento	Área (Ha)	Área %
JUTIAPA	132,255	33.93
SANTA ROSA	71,811	18.43
GUATEMALA	62,045	15.92
HUEHUETENANGO	39,661	10.18
JALAPA	22,123	5.68
QUICHE	11,155	2.86
CHIMALTENANGO	10,115	2.60
ALTA VERAPAZ	6,733	1.73
ESCUINTLA	6,508	1.67
CHIQUIMULA	6,414	1.65
BAJA VERAPAZ	5,834	1.50
ZACAPA	5,074	1.30
SOLOLA	4,821	1.24
SACATEPEQUEZ	2,948	0.76
EL PROGRESO	1,309	0.34
SAN MARCOS	671	0.17
SUCHITEPEQUEZ	238	0.06
TOTONICAPAN	31	0.01
TOTAL	389,746	100.00

Fuente: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, 2002

¹⁶ Mapa de áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones de tomate según UPGGR-MAGA (2002)

De acuerdo al estudio de AGREQUIMA 2012, el cultivo del tomate ocupó un área de 8,822 hectáreas en el año 2011, lo cual representa un 2.26% del total del área identificada como favorable con una producción total de 305,426 toneladas métricas¹⁷, las cuales en su mayoría fueron consumidas en el mercado interno del país.

**Cuadro 2: Importación, exportación y precio medio del tomate en Guatemala
Años 2006-2011**

Año Calendario	Área cosechada Hectáreas	Producción Toneladas métricas	Rendimiento toneladas por hectárea	Importación		Exportación		Consumo	
				toneladas Métricas	US\$	toneladas métricas	US\$	Precio Medio	Interno Aparente*
2006	7,057.7	304,564.8	43.1	301.5	42,367.0	17,594.7	2,773,448.0	157.6	287,271.6
2007	10,123.5	355,452.4	35.1	88.1	19,390.0	20,116.0	2,463,045.0	122.4	335,424.5
2008	10,203.8	368,963.0	36.1	320.5	36,242.0	26,894.0	4,039,917.0	150.2	342,389.5
2009	8,386.7	304,814.0	36.3	2,908.1	321,603.0	24,149.4	8,180,894.0	338.8	283,572.7
2010	8,666.3	300,913.1	34.7	1,467.3	229,804.0	31,722.7	12,716,176.0	400.9	270,657.7
2011	8,822.3	305,426.8	34.6	275.9	30,599.0	46,609.3	23,203,911.0	497.8	259,093.4

Fuente: AGREQUIMA, 2012, con base a "El Agro en Cifras" MAGA, 2011

*Diferencia entre la producción + importación - exportación medida en toneladas métricas.

Tomando en consideración la información mostrada en el Cuadro No. 2, el BANGUAT, citado en el estudio de AGREQUIMA 2012, estima que en el año 2010 por cada hectárea sembrada con tomate se generaron 600 jornales al año en dos cosechas. Se necesitan 270 jornales anuales para generar un empleo permanente, por lo que el cultivo del tomate generó aproximadamente 19,604 empleos directos con las 8,822 hectáreas cultivadas en el año 2011.

En lo que respecta al rubro de la exportación, el tomate ha tenido un crecimiento constante a partir del año 2006 incentivado principalmente por el aumento en los precios internacionales. Con respecto a la contribución al PIB nacional y al agrícola, el BANGUAT indica que al 2010 el PIB nacional ascendía a US\$ 42,706,000,000 con un PIB agrícola equivalente a US\$ 4,658,000,000, de los cuales el cultivo del tomate aporta el 0.15% con respecto al PIB nacional y un 1.37% con respecto al PIB agrícola. (AGREQUIMA, 2012, pág. 47)

Con la información del cuadro No. 2, se puede estimar que la productividad por hectárea de tomate sembrado en 2011 fue de 34.6 toneladas métricas. Comparando esta información con los rendimientos obtenidos en otros países, la FAO ha estimado que

¹⁷ Una tonelada métrica equivale a 1,000 kilogramos o 2,204 libras.

Guatemala ocupó el puesto No. 13 dentro de los mejores productores a nivel mundial. (AGREQUIMA, 2012, pág. 47)

El estudio de AGREQUIMA 2012, refiere que el cultivo tiene una gran importancia para el consumo nacional tanto en fresco como para la industria. Respecto a las exportaciones se ha notado un fuerte incremento a partir del año 2007. Estados Unidos ha crecido como destino para las exportaciones de tomate bajo invernadero, y como tal tiene buenas expectativas. Existe una muy fuerte potencialidad por los climas y suelos del país y el cultivo muestra buena productividad, lo que lo ubica como un cultivo promisorio para las tierras de clima templado y semicalido.

2. Fenología y ciclo de cultivo

El tiempo fenológico del tomate está determinado principalmente por la variedad y las condiciones climáticas del lugar en donde se establecerá el cultivo. La fase de desarrollo vegetativo comprende cuatro etapas las cuales inician con el establecimiento del semillero, germinación, crecimiento hasta la formación de tres o cuatro hojas verdaderas y por último, e trasplante al recipiente hidropónico. Todo este proceso tiene una duración aproximada de 30 a 35 días. (Jaramillo, Rodriguez, Guzman, & Zapata, 2006, pág. 10)

Posterior a la fase vegetativa se encuentra la fase reproductiva, la cual inicia con la floración que ocurre entre los 25 o 28 días después del trasplante; luego da inicio la formación y llenado del fruto terminando con la maduración y cosecha que se inicia con el primer racimo y ocurre entre 85 a 90 días después del trasplante. En total, la etapa reproductiva tiene una duración aproximada de 180 días. (Jaramillo, Rodriguez, Guzman, & Zapata, 2006, pág. 10)

3. Requerimientos climáticos

i. Temperatura

El rango de temperatura óptima para la fase de desarrollo vegetativo del tomate se ubica durante el día entre los 18 y 22 °C y durante la noche no debe ser superior a 16 °C. Durante la fase de desarrollo productivo la temperatura óptima durante el día debe estar entre los 23 y 28 °C grados centígrados y durante la noche entre 15 y 22 °C. Si las

temperaturas son mayores a 25 °C y menores de 12 °C la fecundación es defectuosa o nula, porque se disminuye la cantidad y calidad del polen, lo cual produce la caída de flores y deformación de frutos. Con temperaturas menores a 12 °C, se producen ramificaciones en las inflorescencias. A nivel de fruto, este se puede tornar con franjas amarillentas si las temperaturas exceden los 30 °C y menores de 10 °C. En general, la diferencia de temperatura entre el día y la noche no debe ser mayor a 10 °C. (Jaramillo, Rodriguez, Guzman, & Zapata, 2006, pág. 11)

ii. Humedad relativa

El rango óptimo de humedad relativa se encuentra entre 60 y 80%. Si la humedad relativa es alta se favorece el desarrollo de enfermedades, y se presentan algunos defectos que afectan la calidad de los frutos, mientras que si la humedad relativa es baja, aumenta la transpiración de la planta, se reduce la fotosíntesis y se seca el polen lo cual trae consigo anomalías en la fecundación. (Jaramillo, Rodriguez, Guzman, & Zapata, 2006, pág. 12)

iii. Luminosidad

El tomate es un cultivo que requiere días soleados, los cuales tengan entre 8 y 16 horas de luz para que se pueda dar un adecuado desarrollo y se logre una coloración uniforme en el fruto. Si la luminosidad es baja, se afectan los procesos de floración, fecundación, desarrollo vegetativo de la planta y se reduce la absorción de agua y nutrientes. (Jaramillo, Rodriguez, Guzman, & Zapata, 2006, pág. 12)

F. Manejo Hidropónico

1. Semillero

El porcentaje de germinación de las semillas depende de la calidad de las mismas, sin embargo, es aceptado que en la mayoría de los casos este porcentaje es mayor a 95%. Una buena práctica es estimar un 15 a 25% más de semilla para garantizar la cantidad adecuada de plántulas para el trasplante. La temperatura óptima para la germinación es de 22 a 24 °C.

La germinación de las semillas tarda entre 8 a 11 días a una temperatura media de 21°C. Tal como sucede con el tomate que se cultivará de manera tradicional, las semillas que se utilizan para un sistema hidropónico se colocan en cubos con sustratos orgánicos para luego ser trasplantados al sistema hidropónico. Es importante recordar que durante esta etapa, el sustrato utilizado debe estar húmedo, procurando que cuando ocurra la germinación las plántulas no estén expuestas directamente a la luz solar. (Benton, 2005, pág. 192)

2. Contenedores y sustratos

El sustrato más utilizado para el desarrollo de tomate en sistemas hidropónicos es la lana de roca, y en segundo lugar la perlita seca ya sea en bolsa o en macetas, lo cual no quiere decir que sean los únicos materiales que se pueden utilizar. Existe una gran cantidad de materiales disponibles (ver sección IV, A, 4. Sustratos) los cuales se pueden utilizar en distintos tipos de contenedores. El número de plantas por tipo de contenedor dependerá del tamaño de los mismos y del espaciamiento de la plantación. (Benton, 2005, pág. 193)

3. Espaciamiento entre plantas

El área que ocupa cada planta está determinada por el espaciamiento entre plantas. Generalmente, el área que ocupa cada planta tiene influencia directa en la producción de fruto por planta, mientras más elevada es la densidad generalmente el rendimiento por planta disminuye. Lo que determina el espaciamiento óptimo para un máximo rendimiento es la intensidad de la luz. A mayor intensidad durante la época de floración y fructificación, más cerca puede estar una planta de otra. Por lo mencionado anteriormente, es obvio que el espaciamiento y número de plantas por área no puede ser estandarizado y dependerá de las condiciones particulares del lugar y de la experiencia del agricultor. (Benton, 2005, pág. 200)

4. Prácticas culturales

La instalación de tutores que guíen y soporten el desarrollo de la planta, la remoción de los retoños de las yemas axiales y la remoción de tallos vegetativos de los racimos florales, las podas de hojas, la polinización de las flores y la poda de los frutos de los racimos son prácticas diarias esenciales para una adecuada producción de frutos. El

objetivo de todas estas prácticas es mantener la planta en condiciones altamente productivas. La cantidad de tiempo necesario en la tarea de poda de frutos (remoción de frutos poco desarrollados) y la remoción de hojas que estén debajo de los racimos (en general las hojas que se ubican debajo de los primeros racimos contribuyen a que los racimos de las partes superiores no se desarrollen adecuadamente) depende de la variedad de tomate utilizado. (Benton, 2005, pág. 201)

V. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA HIDROPONICO NFT PARA LA PRODUCCION DE TOMATE BAJO INVERNADERO

A. Selección de la ubicación y tamaño del invernadero

Uno de los criterios importantes para llevar a cabo el estudio era que las condiciones del lugar en el que se iba a construir el invernadero cumplieran con los requisitos climáticos para establecer exitosamente una plantación de tomate. Tomando en consideración los requerimientos descritos en el capítulo IV, se estableció que la Ciudad de Guatemala presentaba condiciones climáticas adecuadas para este propósito.

Se definió que el invernadero se ubicaría en la terraza de una residencia ubicada en la zona 18 de la Ciudad de Guatemala específicamente en las coordenadas geográficas Norte $14^{\circ}39'15.66''$ y Oeste $90^{\circ}28'45.19''$ ¹⁸.

B. Materiales utilizados

1. Materiales utilizados en la construcción del invernadero

La estructura de los invernaderos debe construirse idealmente con materiales livianos y durables, por lo que el uso de aluminio, bambú, hierro o madera tratada es habitual; sin embargo, el costo de estos materiales hace que la inversión inicial necesaria para la implementación de un cultivo bajo estas condiciones se eleve, por lo que para este estudio se optó por la utilización de madera de pino rustica secada al sol.

El tamaño del invernadero estaba limitado en primer lugar por los recursos financieros disponibles y en segundo lugar por el tamaño y forma que tuviera la terraza de la residencia en donde se iba a realizar la construcción, por lo que luego de tomar en consideración estas variables, se estableció que el invernadero tendría una forma rectangular con 7 metros de largo por 4 metros de ancho, que equivalen a un área total de 28 metros cuadrados. Se diseñó un techo a una sola caída que tenía su altura más baja en 2.50 metros y 3.50 metros en la parte más alta, para lograr el desnivel necesario para

¹⁸ DATUM WGS 1984

un buen drenaje en caso de lluvia. Este diseño, sufrió algunas modificaciones, específicamente en las dimensiones del desnivel del techo, ya que se redujo de 1 metro a 0.5 metros, por lo que la altura total fue finalmente de 3 metros.

La altura de 2.50 metros se definió en base a que las mesas en las cuales se instalaron los canales de riego del sistema hidropónico tendrían una altura máxima de 0.70 metros, lo cual proporcionaría un espacio de 1.80 metros para el crecimiento de las plantas. (Ver imagen 2 en Anexo D)

Para el recubrimiento del invernadero se utilizaron materiales alternativos, en el caso del techo, se emplearon láminas acanaladas transparentes, las cuales tienen un mayor tiempo de vida útil con respecto a lo que pueden ofrecer los plásticos para invernadero. En lo que respecta a las paredes, se utilizó nylon transparente calibre 72, que es un material que está disponible en la mayoría de las ferreterías o ventas de materiales de construcción de cualquier centro poblado de Guatemala.

El invernadero se orientó de Norte a Sur debido a que los vientos soplan en esta dirección la mayor parte del año, lo que facilitó la ventilación dentro de la estructura al replegar el nylon de la pared norte y sur hasta una altura de 1.30 metros. Esto permitió crear un corredor por donde circuló el aire necesario para propiciar el movimiento de agua de las raíces hacia las hojas de las plantas de tomate.

2. Materiales utilizados en la construcción del sistema hidropónico NFT

i. Tanque Colector

Se utilizó un tanque cilíndrico con capacidad de 200 litros, recubierto con nylon negro en la parte superior para reducir el contacto directo de los rayos solares en la solución nutritiva con lo que se logró minimizar la incidencia de algas. Debido a las características de la ubicación del invernadero, se presentó el problema de encontrar un lugar adecuado que permitiera el retorno de la solución nutritiva por gravedad al tanque colector. Bajo condiciones de campo, lo que se hace comúnmente es cavar un agujero para ubicar el tanque colector por debajo del nivel del suelo, lo que garantiza que el retorno de la solución nutritiva tenga condiciones de altura suficientes para una buena oxigenación.

En este caso, como la altura máxima de caída de agua desde los canales de riego era de 0.70 metros, era imposible colocar un tinaco convencional por debajo de las mesas de soporte del sistema hidropónico, por lo que se determinó que la opción más adecuada era ubicar el tanque colector en la planta baja de la residencia.

Para lograr esto, se diseñó un sistema de tuberías que, empleando una bomba centrífuga, distribuyó de manera uniforme la solución nutritiva a los canales de riego ubicados en las mesas para luego retornar por un sistema de drenaje que permitiera a la solución nutritiva regresar al tanque de captación utilizando la fuerza de la gravedad. (Ver imagen 3 en Anexo D)

ii. Bomba de agua

Para el funcionamiento del sistema de riego se eligió una bomba centrífuga marca Agro-campo de 300 watts de potencial, con capacidad para bombear 12 galones por minuto a una altura de 3 metros utilizando una tubería de $\frac{3}{4}$ " de pulgada de diámetro.

Debido a los altos costos en electricidad que se generarían si la bomba estuviera en funcionamiento las 24 horas del día, se tomó la decisión de dejarla sin funcionamiento durante la noche, tomando en consideración que los procesos fotosintéticos ocurren principalmente en el día y que por tanto, la planta no consume cantidades significativas de agua y nutrientes. Adicionalmente, se observó que las raíces retenían una buena cantidad de agua en los canales de riego durante la noche, misma que fue suficiente para mantener las plantas en buenas condiciones y evitar problemas de marchitez.

Para reducir aún más los costos, se experimentaron distintos intervalos de funcionamiento de la bomba centrífuga para las distintas horas del día que tomaron en consideración las fluctuaciones de temperatura que ocurren en este período, lo que dio como resultado la utilización de la bomba de acuerdo al cuadro No. 3.

**Cuadro 3: Tiempo de utilización de bomba centrífuga del sistema hidropónico
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero**

HORA DEL DÍA	MINUTOS/HORA
De 7 a 11	30
De 11 a 14	45
14 a 18	30

Fuente: Elaboración propia, 2012

Para que los intervalos de tiempo fueran exáctos se empleó un “timer” graduable para que activara o desactivara la bomba centrífuga. (Ver imagen 4 en Anexo D)

iii. Tubería de distribución

Para la construcción del sistema de distribución de la solución nutritiva se emplearon 18 metros de tubería PVC de $\frac{3}{4}$ de pulgada y 1.5 metros para de tubería de 1 pulgada para la parte de succión y salida de agua de la bomba centrífuga.

Para garantizar el flujo de agua a los canales de riego, se perforaron 15 agujeros de $\frac{1}{8}$ de pulgada en la parte de la tubería que coincidía con el inicio de los canales de riego. Así mismo, se tomó en consideración que las especificaciones de la bomba centrífuga garantizaban que a 3 metros de altura el caudal en circulación estaba en el rango de los 37 a 40 litros por minuto, por lo que el caudal que circuló en cada canal de riego fue por lo menos 2.5 litros por minuto, que es un poco más de lo que la literatura recomienda para mantener una lámina de riego con características adecuadas en un sistema hidropónico NFT. (Ver imagen 5 en Anexo D)

iv. Canales de riego

Para poder acceder a la plantación de tomate y realizar las prácticas agrícolas necesarias que garantizaran el adecuado desarrollo de la plantación, se construyeron dos mesas que fueron las que dieron soporte a los canales de riego del sistema hidropónico. De acuerdo al diseño del sistema hidropónico, se optó por la construcción de 2 mesas que tubieron las siguientes dimensiones: mesa número uno de 2.80 metros de longitud por 2.40 metros de ancho, mientras que para la mesa número dos 3 metros de longitud por 1.40 metros de ancho.

La diferencia de dimensiones se debe a que se quiso experimentar con dos tamaños de canales de riego distintos para ver si había alguna diferencia en cuanto a la producción. Cabe mencionar que aunque las diferencias no fueron significativas en cuanto a rendimientos, los canales de riego más anchos proporcionaron un mejor espacio para el desarrollo de las raíces de la plantación de tomate utilizando la técnica hidropónica NFT.

Las alturas máximas de ambas mesas fueron 0.7 metros y las alturas mínimas 0.60 metros, lo cual brindaba una pendiente aproximada de 3%; que aseguró un flujo adecuado de la solución nutritiva en los canales de riego.

En la mesa número uno se construyeron canales de riego de 8 centímetros en la base, mientras que para la mesa más número dos, el tamaño en la base fue de 16 centímetros. Para dar la forma a los canales, se utilizaron reglas de madera de 1 X 2 pulgadas, mismas que se colocaron en las mesas a las distancias ya mencionadas para luego ser recubiertas con nylon negro. (Ver imagen 6 y 7 en Anexo D)

v. Recipientes contenedores

Se utilizaron 2 tipos de recipientes contenedores para anclar las plantas de tomate, el primero compró en una tienda especializada en la venta de artículos hidropónicos y el segundo tipo de contenedor hecho de manera artesanal a partir de vasos transparentes número 5. El primer tipo de contenedor tenía 6 cm de diámetro y 5 cm de altura mientras que el segundo tipo de contenedor tenía un diámetro de 6.5 cm y 8 cm de altura.

Cabe mencionar que para elaborar el segundo tipo de contenedor las perforaciones se hicieron utilizando un destornillador calentado en una estufa, haciendo perforaciones en la base y a los lados del vaso a una altura no mayor de 3 cm.

Los recipientes contenedores fueron puestos en los canales de riego y sostenidos por planchas de poliestireno (duroport), de 50 X 100 cm en donde se hicieron perforaciones con un diámetro de 5.5 cm. (Ver imagen 8 y 9 en Anexo D)

vi. Sustrato utilizado

En este caso se utilizó piedra pómez, que es un material mineral de origen volcánico con características de alta porosidad, ligero y friable. El tamaño máximo del material utilizado fue de 5 mm el cual proporcionó buen soporte y espacio suficiente para el desarrollo adecuado de las raíces de las plantas de tomate.

vii. Tubería colectora

Para que la solución nutritiva retornara al tanque colector se pusieron al final de cada mesa dos canaletas de lámina galvanizada, las cuales estaban interconectadas entre sí por tubería para drenajes de PVC de 3 pulgadas de diámetro. (Ver imagen 10 en Anexo D)

3. Manejo de la plantación de tomate

i. Establecimiento del semillero

Dadas las características del invernadero y sistema hidropónico, se escogió la variedad de tomate denominada “Roma” que es un tipo de tomate de crecimiento determinado, lo que significa que es menos exigente en términos de espacio para poder desarrollarse adecuadamente. Este tipo de plantas son compactas y tienden a reducir su crecimiento vegetativo cuando la planta comienza entra al ciclo de producción de fruta luego de la floración. En lo que se refiere a las características del fruto, la fruta madura tiene una forma redonda y alargada y pesa alrededor de 2 oz o 57 gramos. (Christensen, 2013)

Las semillas de tomate se colocaron en bandejas germinadoras de 200 posturas, empleando la mitad de la bandeja (100 posturas) y colocando entre 2 y 3 semillas de tomate por postura. Se considera que el porcentaje de germinación de la semilla de tomate es de 90% por lo que se estimó una germinación de por lo menos 180 plántulas, mismas que sería suficientes para ocupar todos los espacios disponibles en el sistema hidropónico. (Ver imagen 11 en Anexo D)

El sustrato utilizado para la germinación fue una mezcla de tierra con materia orgánica, la cual se mantuvo húmeda y se cubrió con una bolsa plástica para evitar el contacto directo con los rayos del sol y así mantener el contenido de humedad.

ii. Preparación de plántulas para establecimiento en el sistema hidropónico

Posterior a su germinación, se dejó crecer las plántulas hasta una altura aproximada de 10 centímetros con al menos 4 hojas verdaderas. Una vez alcanzadas estas características, se procedió a extraer la plántula, misma que contenía una buena cantidad de sustrato en la zona radicular debido al buen crecimiento que se observó en esta fase fenológica.

El exceso de tierra fue lavado hasta dejar la raíz de la planta limpia con lo que se procedía a colocarla en los recipientes vacíos, teniendo cuidado de pasar la raíz principal por las aberturas de los mismos. Una vez colocada la planta, se procedía a colocar el sustrato para rellenar el recipiente hasta $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad para luego llevarlas a un balde plástico que contenía una mezcla de solución nutritiva para propiciar el crecimiento de la raíz hasta un tamaño que le permitiera tener un buen contacto con la lámina de solución nutritiva que circulaba por los canales de riego del sistema hidropónico. (Ver imagen 12 en Anexo D)

iii. Distanciamiento entre plantas

Se utilizaron dos distanciamientos debido a la variación en el tamaño de los canales de riego. Para la mesa No. 1 se utilizó un distanciamiento de 25 centímetros en dirección perpendicular a los canales de riego y 30 centímetros en dirección longitudinal a los mismos. Para la mesa No. 2 se utilizó un distanciamiento de 20 centímetros en dirección perpendicular y 30 en dirección longitudinal a los canales de riego. (Ver imagen 13 en Anexo D)

iv. Cantidad de plantas y área efectiva

Con los distanciamientos antes mencionados se pudo establecer un cultivo de 114 plantas, para lo cual se emplearon 13 planchas de poliestireno de 50 X 100 cm, para un área efectiva equivalente a 13.98 metros cuadrados ubicados dentro de los 28 metros cuadrados disponibles en la estructura del invernadero. Esta distribución de plantas hizo que la densidad de cultivo fue aproximadamente 8 plantas por metro cuadrado. Cabe aclarar que para efectos de experimentación, se incluyeron 21 plantas de Chile Pimiento (*Capsicum annum*) por lo que en total habían 93 plantas de tomate.

Según (Mancilla, 2004), el marco de plantación en el tomate se establece en función del porte de la planta y de la variedad comercial cultivada. El marco frecuentemente utilizado en campo es 1.5 metros entre líneas y 0.5 metros entre plantas, (1.33 plantas por metro cuadrado) aunque cuando se trata de plantas de porte medio es común aumentar la densidad de plantación a marcos de 1m X 0.5 m. (2 plantas por metro cuadrado).

v. Preparación de la solución nutritiva

Al inicio de la plantación, se utilizó una mezcla hidropónica preparada por una casa comercial la cual se presentaba en dos recipientes, uno de macro-nutrientes y otro de micro-nutrientes cuya proporción de mezcla era de 1ml/litro y 0.5 ml/litro respectivamente. Debido al tamaño de las presentaciones, cada recipiente estaba formulado para preparar 100 litros de solución nutritiva, por lo que se necesitaban dos unidades de cada producto para llenar el tanque de captación del sistema.

Los resultados obtenidos con el uso de esta mezcla de nutrientes fueron satisfactorios en la fase de crecimiento vegetativo de las plantas de tomate, sin embargo, se evidenciaron algunos problemas al inicio de la fase de floración, por lo que se decidió dejar de usar este producto y hacer una formulación propia, siguiendo las formulaciones recomendados por las fuentes bibliográficas consultadas para la elaboración del presente documento.

La elaboración de una mezcla de nutrientes propia representó tener un mayor control sobre la plantación, ya que permitió corregir de manera rápida la presencia de síntomas de deficiencias nutricionales y abrió la oportunidad para intentar mejorar los rendimientos en la fase de fructificación de la plantación de tomate.

Cuadro 4: Productos comerciales y cantidades utilizados en la elaboración de la solución nutritiva en la fase de fructificación.

**Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
(Cantidades para mezclar con 200 litros de agua)**

Nombre comercial	Cantidad	
Beauty Natural	10	gr
Yara complex	10	gr
Nitrato de Calcio	80	gr
Vitafon	40	ml
Nitrato de Potasio	20	gr
Sulfato de Potasio	40	gr
Atlántica	5	gr
Hierro 5%	18	ml
Manganeso 5%	6	ml
Magnesio 4%	150	ml

Fuente: Elaboración propia, 2013

vi. Manejo de la solución nutritiva

El manejo de la solución nutritiva tomó en consideración las siguientes variables:

- pH
- Conductividad eléctrica
- Temperatura del agua
- Consumo de la solución nutritiva

El pH se refiere al grado de acidez o alcalinidad de la solución nutritiva y se debe controlar puesto que el rango en que la mayoría de nutrientes se encuentran disponibles para ser absorbidos por las plantas se ubica entre 5.5 y 7. Las correcciones al pH deben hacerse antes de iniciar la mezcla de nutrientes. En este caso se utilizó un corrector de pH para reducir la alcalinidad del agua.

La determinación de la concentración de elementos presentes en la solución nutritiva se puede llevar a cabo por medio del análisis de muestras en el laboratorio, sin embargo, este procedimiento es bastante costoso ya que se requiere controlar este parámetro diariamente, debido a lo anterior, se optó por utilizar otra metodología que consistió en estimar la concentración total de elementos nutritivos disueltos por medio de la conductividad eléctrica.

Este estimador se basa en el principio de la proporcionalidad de la conductividad eléctrica de una solución en relación a la concentración de sales disueltas, junto con la utilización de una solución nutritiva que contiene una baja concentración de elementos no esenciales. El rango sugerido para una adecuada concentración de sales en la solución nutritiva fue de 1.5 a 3 milisiemens (mS/cm).

La temperatura de la solución nutritiva es un parámetro importante a medir, especialmente al medio día, puesto que se ha determinado que si la temperatura del agua está por debajo de la temperatura ambiente la planta puede presentar síntomas de marchites o estrés hídrico.

Los tres parámetros antes mencionados, (pH, C.E. y Temperatura) se midieron utilizando un instrumento portátil marca Hanna, debidamente calibrado y a prueba de agua. (Ver imagen 14 en Anexo D)

vii. Plagas y enfermedades encontradas

Se encontró daño radicular en algunas plántulas ubicadas en los últimos espacios del canal de canal de riego, cerca de la tubería colectora. Estas plantas presentaban poco crecimiento vegetativo y un color marrón en la raíz. Se asumió que debido al tamaño reducido de los canales de riego (principalmente en la mesa No. 1) y la alta densidad radicular, la cantidad de oxígeno que estaba disponible no fue suficiente para garantizar un medio aerobio, por lo que se inició en la raíz un proceso de asfixia que concluyó con la muerte de las plantas. En total fueron contabilizadas 4 plantas con este daño, por lo que al final del ciclo productivo se contabilizaron 89 de las 93 plantas de tomate en fase de producción. (Ver imagen 15 en Anexo D)

VI. RESULTADOS

A. Estimación de costos de construcción de invernadero y sistema hidropónico NFT en un área de 28 metros cuadrados.

Los materiales utilizados en la construcción del sistema hidropónico y el invernadero trataron de ser distintos con respecto a los que se utilizan en la mayoría de los invernaderos y sistemas hidropónicos convencionales, es decir, se buscaron materiales más baratos y que se pudieran conseguir fácilmente en distintos locales comerciales de la ciudad capital o en cualquiera de las áreas urbanas y rurales de los municipios de Guatemala.

Cabe destacar que para el análisis que se pretende realizar en este apartado no se incluye el costo de la mano de obra, pues el invernadero y sistema hidropónicos fueron construidos por el autor de este estudio, sin embargo, se incluyen los costos de las herramientas que facilitaron las tareas de construcción de las estructuras.

1. Inversión fija

Se refiere a las erogaciones de efectivo que se hicieron para adquirir bienes de capital según el detalle que se presenta a continuación.

Cuadro 5: Inversión fija
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
2012
 (Cifras en quetzales)

Concepto	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Instalaciones (Invernadero de 28 m ²)	1	3,237.49	3,237.49
Equipo			5,559.86
Medido de pH, C.E. y Temperatura del agua	1	2,072.93	2,072.93
Soluciones de mantenimiento y calibración	1	840.40	840.40
Sistema hidropónico	1	2,646.53	2,646.53
Herramientas			1,244.97
Combo cortadora circular + lijadora	1	725.00	725.00
Roto-martillo profesional	1	399.99	399.99
Juego de 6 brocas planas	1	59.99	59.99
Juego de brocas sierra	1	59.99	59.99
Total			10,042.32

Fuente: Elaboración propia, 2013

Los activos fijos se depreciaron según lo estipulado en el Decreto Ley 26-92 del Impuesto Sobre la Renta (ISR). El invernadero se depreció con un 5% anual. El equipo se depreció con el 20% anual. La depreciación de las herramientas fue de 25% al año.

2. Capital de trabajo

Está constituido por todos aquellos recursos que fueron necesarios para iniciar la producción de tomate bajo condiciones de invernadero. Tomando en consideración los costos de producción que se presentan en el inciso B.1 de este capítulo, se determinó que el capital de trabajo fue Q916.79 que se detalla en el siguiente cuadro:

**Cuadro 6: Inversión en capital de trabajo para sembrar un invernadero de 28 mts²
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
2012
(Cifras en quetzales)**

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
MATERIA PRIMA				488.87
Bandeja para germinar	bandeja	1	34.99	34.99
Fertilizante Atlántica	libra	0.2	65.00	13.00
Fertilizante Beauty Natural	libra	0.2	65.00	13.00
Fertilizante Vitafon.	litro	0.3	68.00	20.40
Fertilizante Yara Complex	libra	2	75.00	150.00
Hierro Stoller 5%	litro	0.3	65.00	19.50
Magnesio 4%	litro	0.3	75.00	22.50
Manganeso stoller 5%	litro	1	80.00	80.00
Net pott (recipiente hidropónico)	unidad	20	0.50	10.00
Nitrato de Calcio	libra	3	10.50	31.50
Piedra poma	bolsa	1	29.99	29.99
Semilla de tomate roma	sobre	1	15.00	15.00
Sulfato de potasio	libra	1	12.00	12.00
Sustrato para germinación	bolsa	1	29.99	29.99
Vasos plásticos	bolsa	1	7.00	7.00
GASTOS VARIABLES INDIRECTOS				427.92
Agua	m ³	3	2.24	6.72
Energía Eléctrica	kilowatt	234	1.80	421.2
TOTAL				916.79

Fuente: Elaboración propia, 2013

El cuadro 6 muestra el capital de trabajo, que estuvo integrado únicamente por el costo de producción (materia prima y gastos variables indirectos) ya que debido al tamaño del invernadero no era necesario la contratación de mano de obra para el mantenimiento de la plantación ni tampoco para la realización de trámites administrativos complicados.

Así mismo, no se presentan gastos relacionados a la venta puesto que el producto se comercializó en su totalidad a los vecinos del sector, quienes por medio de la publicidad de “boca en boca” se enteraron de la producción de tomate y llegaban directamente a comprar el producto al lugar en donde estaba ubicado el invernadero.

Al integrar la inversión fija y el capital de trabajo, se obtiene como resultado el monto total de la inversión.

Cuadro 7: Inversión total
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
2012
(Cifras en quetzales)

Tipo de inversión	Valor total	%
Fija	10,042.32	92
Capital de trabajo	916.79	8
Total	10,959.11	100

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Los resultados del cuadro 7 muestran que el 92% de la inversión total se utilizó para la adquisición bienes de capital, mientras que el restante 8% se utilizó para financiar los costos de producción.

Para observar en detalle los materiales utilizados en la construcción del invernadero y sistema hidropónico se puede consultar el cuadro No. 12 en el Anexo A, en donde se muestra la información referente a cantidad de material utilizado, costo unitario y costo total de cada uno de los materiales.

Para estimar cuál fue el costo de la estructura del invernadero y del sistema hidropónico que son bienes de capital, se presenta el cuadro 8, que sirvió para determinar el costo por metro cuadrado de la estructura de madera del invernadero. Dicho costo se comparó con los costos de invernaderos construidos con materiales y estructuras similares.

**Cuadro 8: Costos de invernadero y sistema hidropónico
Producción de hidropónica de tomate bajo invernadero
2012
(Cifras en quetzales)**

Descripción	Costo
Sistema Hidropónico	5,559.46
Invernadero	4,482.86
Capital de trabajo	916.79
TOTAL	10,959.11

Fuente: Elaboración propia, 2013

Como se observar, el costo total de construcción del invernadero fue Q 4,482.46 que equivale a Q160.08 por metro cuadrado.

De acuerdo a la información proporcionada por el CENTA¹⁹, el costo total de un invernadero de 10X4 metros construido de madera es de US\$35.00 (Q273.00)²⁰ por metro cuadrado, un invernadero de madera y metal de 15X4 metros tiene un costo de US\$ 28.56 (Q222.53)²¹ por metro cuadrado mientras que el costo de un invernadero de 10X4 metros con estructuras de hierro tiene un costo de US\$ 37.12 (289.53)²² por metro cuadrado.

Se puede observar que con materiales y dimensiones similares, los costos de construcción de un invernadero con un diseño sencillo que utiliza materiales económicos se pueden reducir hasta en un 41%.

Es necesario aclarar que se eligió hacer la comparación con el CENTA, que a pesar de ser una institución salvadoreña, no es una institución con fines de lucro, por lo que los costos que se presentan no tienen incluido un margen de ganancia significativo para la institución, lo que hace más viable la comparación pues en este caso se pretende que sean personas organizadas las que construyan con sus propios medios los invernaderos sin necesidad de contratar empresas especializadas para dicha tarea.

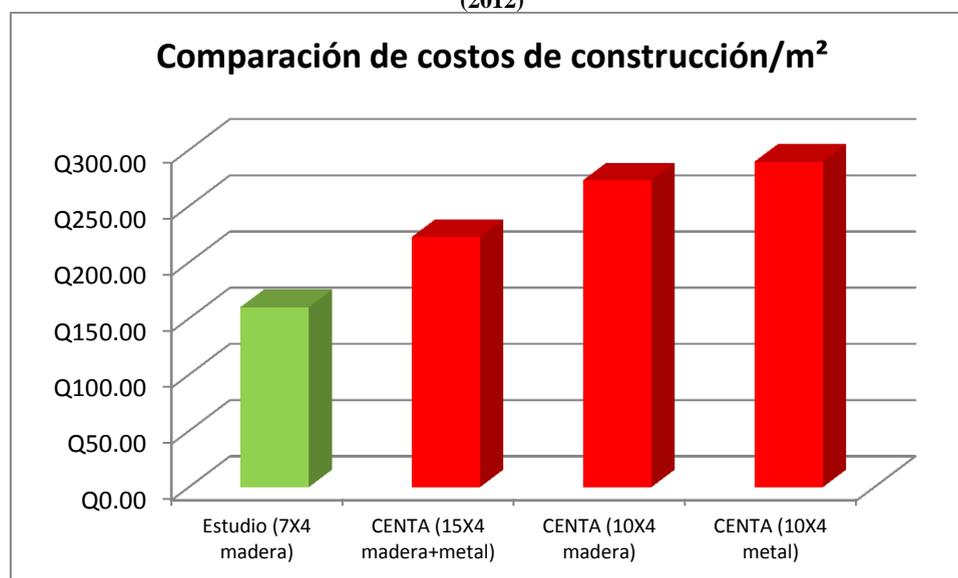
¹⁹ (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, 2013)

²⁰ Tipo de cambio utilizado 7.80 quetzales por 1 Dólar de los Estados Unidos de América.

²¹ Idem ref. 20

²² Idem ref. 20

**Figura 1: Comparación de costos de construcción
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
(2012)**



Fuente: Elaboración propia, 2013

B. Rentabilidad económica del cultivo de tomate con el sistema hidropónico NFT por unidad de área.

1. Costo de producción

En este punto se aplicó el método de costeo real, debido a que se usaron tasas reales de costo directo e indirecto que fueron multiplicadas por cantidades reales utilizadas en la producción.

**Cuadro 9: Estado de Costo de Producción
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
2012
(Cifras en quetzales)**

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
MATERIA PRIMA				488.87
Bandeja para germinar	bandeja	1	34.99	34.99
Fertilizante Atlántica	libra	0.2	65.00	13.00
Fertilizante Beauty Natural	libra	0.2	65.00	13.00
Fertilizante Vitafon.	litro	0.3	68.00	20.40
Fertilizante Yara Complex	libra	2	75.00	150.00
Hierro Stoller 5%	litro	0.3	65.00	19.50
Magnesio 4%	litro	0.3	75.00	22.50
Manganeso stoller 5%	litro	1	80.00	80.00
Net pott (recipiente hidropónico)	unidad	20	0.50	10.00
Nitrato de Calcio	Libra	3	10.50	31.50

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Piedra poma	bolsa	1	29.99	29.99
Semilla de tomate roma	sobre	1	15.00	15.00
Sulfato de potasio	Libra	1	12.00	12.00
Sustrato para germinación	bolsa	1	29.99	29.99
Vasos plásticos	bolsa	1	7.00	7.00
GASTOS VARIABLES INDIRECTOS				427.92
Agua	m ³	3	2.24	6.72
Energía Eléctrica	kilowatt	234	1.80	421.2
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN				916.79
Producción en libras				166.21
Costo unitario por libra				5.52

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Sin incluir el costo inicial de construcción del invernadero y sistema hidropónico, se estimó que el costo de producción de 1 caja de 50 libras de tomate en un área efectiva de 11.28 metros cuadrados de plantación utilizando el sistema hidropónico NFT fue de Q276.00

Según (Montejo, 2009, pág. 51), el costo de producción de una caja de tomate en campo es de Q53.33 lo que comparado con el costo de producción del sistema hidropónico a pequeña escala es 5.17 veces mayor. Sin embargo, cabe señalar que el tamaño del sistema hidropónico no aprovecha al máximo las capacidades del equipo instalado, que está en función principalmente del caudal de la bomba centrífuga.

Si se hubiera aprovechado al máximo la capacidad de la bomba, que era de 12 galones/minuto, se podrían tener un máximo de 18 canales de riego ya que la literatura recomienda que el caudal de cada uno deba ser por lo menos de 2.50 litros/minuto. Así mismo, se recomienda que los canales de riego no sea de más de 15 metros de longitud, por lo que en este caso se supondrá que se los canales de riego tendrán una longitud de 12 metros.

Con la modificación de las variables referentes a la cantidad y longitud de los canales de riego, el sistema podría soportar un total de 779 plantas las cuales pueden proporcionar una cosecha promedio de 1,454.11 libras de fruta.

Para estimar el costo de producción de un invernadero de este tamaño se extrapoló la información del invernadero experimental, por lo que el cuadro No. 10 muestra los costos de producción de un invernadero de aproximadamente 8 X 15 metros.

Cuadro 10: Estado de Costo de Producción
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
2012
(Cifras en quetzales)

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
MATERIA PRIMA				1,061.52
Bandeja para germinar	bandeja	4	34.99	139.96
Fertilizante Atlántica	libra	0.8	65.00	52.00
Fertilizante Beauty Natural	libra	0.8	65.00	52.00
Fertilizante Vitafon.	litro	1.2	68.00	81.60
Fertilizante Yara Complex	libra	3	75.00	225.00
Hierro Stoller 5%	litro	1	65.00	65.00
Magnesio 4%	litro	1	75.00	75.00
Manganeso stoller 5%	litro	1	80.00	80.00
Net pott (recipiente hidropónico)	unidad	20	0.50	10.00
Nitrato de Calcio	libra	6	10.50	63.00
Piedra poma	bolsa	3	29.99	89.97
Semilla de tomate roma	sobre	1	15.00	15.00
Sulfato de potasio	libra	4	12.00	48.00
Sustrato para germinación	bolsa	1	29.99	29.99
Vasos plásticos	bolsa	5	7.00	35.00
GASTOS VARIABLES INDIRECTOS				480.90
Agua	m ³	26.65	2.24	59.696
Energía Eléctrica	kilowat t	234	1.80	421.2
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN				1,542.42
Producción en libras				1,454.11
Costo unitario por libra				1.06

Fuente: Elaboración propia, 2013

El aumento en la producción de tomate requiere un mayor uso de fertilizantes, agua e insumos, sin embargo el costo de la energía eléctrica se mantiene constante debido a que no es necesario utilizar otra bomba para soportar la extensión de los canales de riego. Así, el costo de producir una caja de tomate se reduce a Q53.00, que es un costo menor en 33 centavos de quetzal al que se reporta utilizando técnicas agrícolas a campo abierto.

2. Volumen de producción y ventas

En el cuadro 11 se presenta el total de la producción obtenida como resultado de la primera cosecha obtenida en el invernadero experimental, así mismo, se muestra el comportamiento del precio de venta y el ingreso que representaron dichas ventas. Cabe señalar que los análisis de rentabilidad se hicieron desde esta sección hasta el final del inciso B del presente capítulo suponiendo que se utilizaron 18 canales de riego con una longitud de 12 metros cada uno (invernadero de 8 X 15 metros) lo que aumentó el tamaño de la plantación a 779 plantas con una cosecha total de 1,454.11 libras.

**Cuadro 11: Volumen de producción y ventas.
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
2013
(Cifras en quetzales)**

Año	Volumen de producción en libras	Precio de venta por libra	Ventas totales
2013	1,454.11	3.5	5,089.39

Fuente: Elaboración propia, 2013

El precio de venta durante los 58 días en los que se obtuvo cosecha se mantuvo constante, ya que debido a que no se hizo clasificación por tamaño de los frutos, se considero que disminuir en casi un quetzal el precio por libra era una forma de compensar a los compradores que adquirirían frutos grandes y pequeños dentro del producto vendido. Es importante mencionar que durante este tiempo el precio del tomate oscilaba entre los cuatro y cinco quetzales por libra.

3. Flujo de caja

En este apartado se determinaron los montos de ingresos y egresos durante la primera cosecha de tomate en el invernadero experimental, nuevamente cabe mencionar que en aras de estimar la rentabilidad de la producción hidropónica se consideró como aporte de inversión el equivalente al costo de instalaciones, equipo y herramientas.

Los resultados del flujo de caja se presentan a continuación en el cuadro No. 12

Cuadro 12: Flujo de caja
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
2013
 (Cifras en quetzales)

Concepto	2013
Saldo anterior	
Ingresos	
Aporte de inversión	10,042.32
Ventas	5,089.39
Total de Ingresos	15,131.71
Egresos	
Instalaciones	3,237.49
Equipo	5,559.86
Herramientas	1,244.97
Gastos variables indirectos	480.90
Total de egresos	10,523.22
Saldo en caja	4,608.49

Fuente: Elaboración propia, 2013

4. Estado de resultados

En el cuadro No. 13 se muestran las actividades de producción en el primer semestre del invernadero experimental en donde se resumen los ingresos, costos y gastos, así como también la ganancia o pérdida de la actividad, misma que sirvió para evaluar la rentabilidad con relación a las ventas. Es importante mencionar que la venta de tomate no estuvo afecta al pago de ISR debido a que no se emitió ninguna factura por la venta del producto y que en este caso, la información se está analizando sobre proyecciones.

Cuadro 13: Estado de resultados
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
2013
 (Cifras en quetzales)

Concepto	2013
Ventas netas	5,089
(-) Costos de producción	481
Utilidad bruta	4,608
(-) Gastos de Operación	793
Depreciaciones	793
Gastos de venta	0
Gastos fijos	0
Utilidad/pérdida neta del ejercicio	3,815

Fuente: Elaboración propia, 2013

5. Balance General

Con la información generada en los incisos anteriores se procedió a elaborar el balance general para el período de producción del proyecto, el cual se muestra a continuación.

Cuadro 14: Balance general
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
 (Cifras en quetzales)

Concepto	2013
Activo	
Circulante	0
Caja y Bancos	0
Fijo	9,250
Invernadero	3,237
(-)Depreciación acumulada	81
Equipo	5,560
(-)Depreciación acumulada	556
Herramientas	1,245
(-)Depreciación acumulada	156
Suma total del activo	9,250
Pasivo	
A largo Plazo	0
Capital	9,250
Aportaciones	10,042
Ganancias no distribuidas	-4,608
Utilidad/pérdida del ejercicio	3,815
Suma pasivo y capital	9,250

Fuente: Elaboración propia, 2013

6. Análisis de rentabilidad

Este análisis permitió conocer datos importantes tales como el margen bruto de utilidades, el margen neto de utilidades y el rendimiento de capital, resultados que confirman la factibilidad financiera de implementar un invernadero si se consigue la ayuda financiera necesaria para la construcción de la infraestructura.

i. Margen bruto de utilidades

En este apartado se analizó como el costo de producción afecta el margen de utilidad que se obtiene sobre las ventas. A menor costo de producción, mayor el margen bruto de utilidades. Para estimar este indicador se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Margen bruto de Utilidades} = \text{Utilidades brutas/Ventas} = 4,608/5,089 = 90\%$$

Esto significa que las ventas sirvieron para cubrir los costos de producción y obtener una ganancia significativa.

ii. Margen neto de utilidades

Este índice se obtiene de los ingresos por venta, el costo de producción y todos los gastos de operación. Este margen se utiliza para evaluar el éxito del proyecto con relación a los ingresos por ventas.

Para calcular el margen neto de utilidades se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Margen neto de utilidades} = \text{Utilidades netas/Ventas} = 3,815/5,089 = 75\%$$

Esto quiere decir que los ingresos que se obtuvieron por ventas fueron suficientes para cubrir el costo de producción y los gastos de operación y generar ganancia económica.

iii. Rendimiento de la inversión

Este índice se conoce también con el nombre de margen de capital en giro. Representa la eficiencia que la administración del proyecto ha tenido al hacer uso de los activos totales para obtener utilidades. Se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento de la inversión} = \text{Utilidades netas/Activos totales} = 3,815/9,250 = 41\%$$

El resultado obtenido muestra que es posible obtener un rendimiento positivo sobre el activo total que se tenía trabajando en la producción de tomate.

iv. Rendimiento de capital

Este índice mide el rendimiento de la inversión total y las utilidades que se obtuvieron. Para calcular este índice se procede de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento de capital} = \text{Utilidades netas/Capital contable} = 3,815/9,250 = 41\%$$

v. **Recuperación de la inversión**

Este índice se utiliza para determinar el tiempo en que se recuperó la inversión, se calcula utilizando la fórmula siguiente:

$$\text{Recuperación de la inversión} = \text{Inversión total} / \text{Utilidades netas} = 10,959.11 / 3,815 = 2.87$$

El resultado anterior quiere decir que la inversión total se recupera en aproximadamente 3 cosechas de tomate en un invernadero de 8 X 15 metros utilizando un sistema hidropónico NFT.

C. Comparación de ciclos fenológicos del tomate y rendimientos por unidad de área

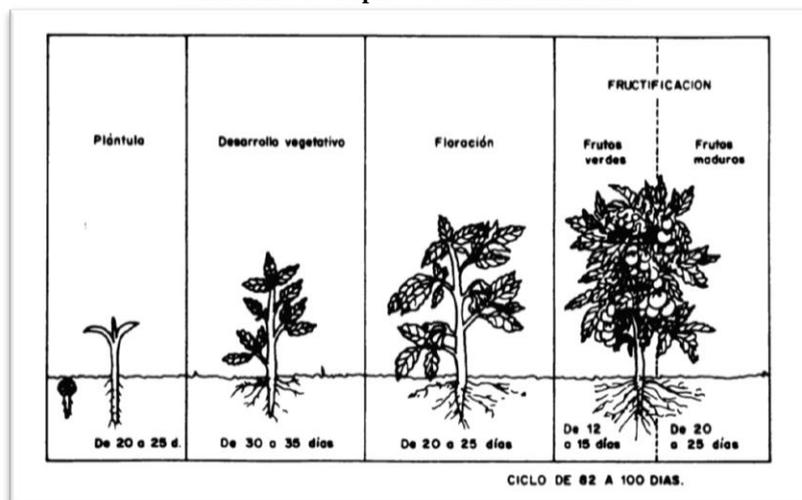
El establecimiento del semillero es el punto de partida para iniciar el recuento del ciclo fenológico de la plantación de tomate que para este caso se inició el día 7 de Octubre del año 2012. Tal como se ha mencionado en párrafos anteriores, al semillero se le dieron todos los cuidados necesarios, utilizando materiales sencillos para producir un almácigo de calidad. Fruto de estos cuidados se logró que la mayoría plántulas estuvieran listas en un período de 30 días ya que el día 6 de noviembre del mismo año se realizaron los primeros trasplantes al sistema hidropónico.

Una vez ubicadas en el sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero, las transcurrieron 39 días para iniciar la etapa de floración (15/12/2012) y otros 34 días para iniciar la etapa de cosecha (18/01/2013), misma que tuvo una duración de 58 días, siendo el 17 de marzo de 2013 el día en que se cosechó el último tomate.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el tiempo transcurrido desde el establecimiento del semillero hasta la cosecha del último tomate fue de 161 días, lo cual está dentro de los rangos normales de tiempo de vida de una plantación de tomate establecida en campo. Para validar esta declaración, se consultó el informe No. 151 del CATIE, el cual reporta los rangos de los distintos ciclos fenológicos de una plantación de tomate de crecimiento determinado en condiciones de campo abierto.

Según el informe técnico No. 151 del CATIE²³ la diversidad de microclimas en los que se cultiva el tomate hace difícil una generalización de la fenología del cultivo. El desarrollo y fenología de tomate de hábito determinado, creciendo en condiciones del trópico seco y con sistemas de riego tiene tiempos fenológicos como los que se presentan en la imagen No. 1.

Imagen 1: Desarrollo fenológico de una variedad de tomate de hábito de crecimiento determinado, bajo condiciones de trópico seco centroamericano.



Fuente: CATIE, 1990

Según la información anterior, la plántula de tomate se mantiene en el semillero por un período de 20 a 25 días, luego del trasplante, el tomate continúa en su etapa vegetativa por unos 30 a 35 días más, y a los 50 o 60 días (30 a 35 días después de la siembra DDS), inicia la floración. La etapa reproductiva, floración y fructificación, se extiende por unos 32 a 40 días antes de la cosecha, la cual se inicia entre los 62 y 75 DDS. (CATIE, 1990, pág. 13)

Si se hace una comparación de los tiempos fenológicos en la fase de semillero que reporta el CATIE con los tiempos fenológicos registrados por el estudio, se puede observar que la diferencia es únicamente de 5 días, lo que era de esperarse debido a que en esta etapa las técnicas de producción son similares tanto para el sistema hidropónico como para la siembra en campo abierto.

²³ (CATIE, 1990, pág. 13)

En lo que respecta a los tiempos después de la siembra, el CATIE reporta un período de 30 a 35 días para el inicio de la floración, lo cual coincide con los 39 días que le tomó a la plantación de tomate en sistema hidropónico el inicio de esta etapa.

Referente al inicio de la cosecha, el CATIE menciona que luego de la floración transcurren de 32 a 40 días para obtener el primer fruto, período que coincide perfectamente con los 34 días que tomó a la plantación en sistema hidropónico producir frutos maduros. Una comparación general de lo que reporta CATIE con los resultados obtenidos en el estudio se presenta a continuación en el cuadro No. 9 y figura No. 2.

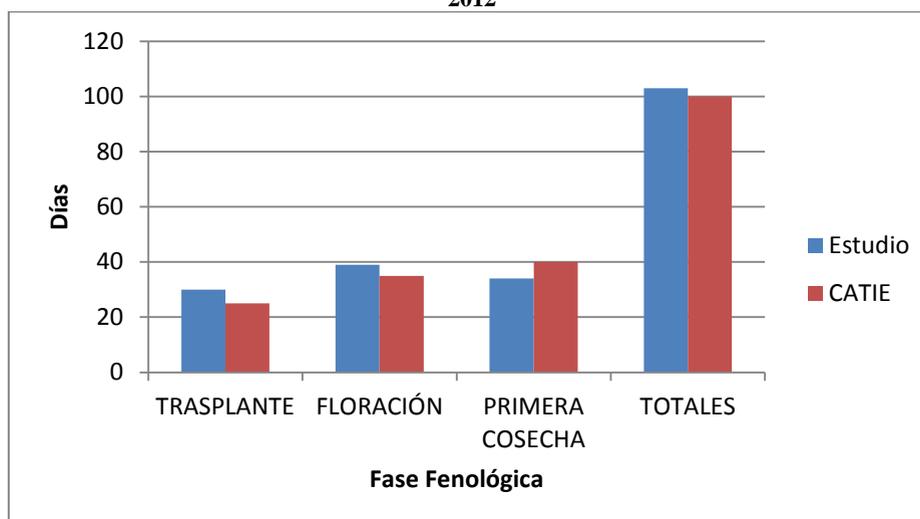
Cuadro 15: Comparación en días de ciclos fenológicos de una plantación de tomate con crecimiento determinado.

Producción hidropónica de tomate bajo invernadero

FASE FENOLÓGICA	TOMATE HIDROPÓNICO			CATIE (1990)	
	FECHA	DÍAS	ACUMULADO	DIAS	ACUMULADO
ESTABLECIMIENTO DE SEMILLERO	07/10/2012	0	0	0	0
TRASPLANTE	06/11/2012	30	30	25	25
FLORACIÓN	15/12/2012	39	69	35	60
PRIMERA COSECHA	18/01/2013	34	123	40	100

Fuente: Elaboración propia, 2013

**Figura 2: Comparación gráfica de ciclos fenológicos del tomate
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
2012**



Fuente: Elaboración propia, 2013

En lo que respecta a al rendimiento y producción de tomate por unidad de área, el parámetro más utilizado para estimar este indicador son las cajas de 50 libras por manzana cultivada²⁴.

Debido a la reducida área del invernadero hidropónico experimental y considerando que el área efectiva real del cultivo fue de únicamente 11.58 metros cuadrados tomando en consideración que se sembró una parte de chile pimiento, el análisis de rendimiento se hizo en dos vías. En primer lugar se estimó la producción total en el invernadero y se dividió dentro del total de metros cuadrados de la plantación, lo que dio como resultado el rendimiento en lb/m^2 . Esta información sirvió para extrapolar la cantidad de tomate que se podría producir bajo condiciones de invernadero en una manzana de terreno.

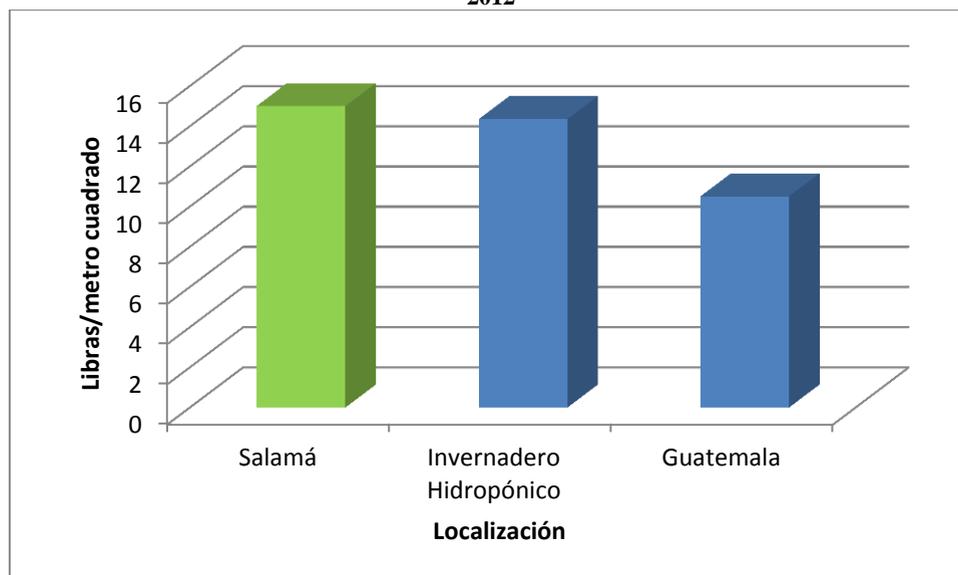
Análogamente, la información que se obtuvo respecto a los rendimientos de tomate a campo abierto se redujo de la dimensional cajas/manzana a lb/m^2 . Cabe destacar que para hacer la comparación de rendimientos se buscaron dos tipos de lugares, el primero que tuviera características climáticas similares al lugar en donde se estableció el invernadero hidropónico y el segundo, un área altamente productiva, que en este caso fue el valle de San Jerónimo y Salamá en Baja Verapaz. Estas comparaciones fueron útiles para ubicar el rendimiento del invernadero hidropónico.

La producción total de la primera cosecha tomate en el invernadero hidropónico fue de 166.21 libras, en 11.58 metros cuadrados, ($14.35 \text{ lb}/\text{m}^2$) equivalentes a una producción de 100,474.16 libras por manzana que corresponden a 2,009.48 cajas de tomate.

Según (Montejo, 2009, pág. 49) la producción de tomate en el municipio de Salamá fue de 2,100 cajas por manzana ($15 \text{ lb}/\text{m}^2$), mientras que (Mendoza, 2000, pág. 29) reporta un rendimiento $10.51 \text{ lb}/\text{m}^2$ equivalentes a 1,470.78 cajas por manzana para condiciones del Departamento de Guatemala. En promedio, el rendimiento a campo abierto fue de 1,795.39 cajas de tomate por manzana, equivalentes a $12.82 \text{ lb}/\text{m}^2$, que comparado con los rendimientos que reporta el estudio representa 1.53 libras menos por metro cuadrado equivalentes a 305 cajas menos de fruto por manzana.

²⁴ Una manzana cultivada de tomate equivale a 7,000 metros cuadrados.

**Figura 3: Comparación de rendimientos por unidad de área.
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero
2012**



Fuente: Elaboración propia, 2013

VII. CONCLUSIONES

El desarrollo del estudio confirma la hipótesis planteada, ya que al utilizar materiales alternativos para la construcción de un invernadero y sistema hidropónico con la técnica NFT, se obtuvieron rendimientos de cosecha superiores comparados con la utilización de prácticas agrícolas tradicionales. Esto se logra debido a la posibilidad de sembrar las plantas con densidades hasta 4 veces mayores a las que se podrían establecer en campo ya que el flujo constante de solución nutritiva que circula en los canales de riego permite a las plantas un fácil acceso a los nutrientes disueltos en dicha solución.

1. La utilización de materiales alternativos en la construcción del invernadero y sistema hidropónico ayudaron a reducir de manera significativa en la inversión inicial necesaria para poner en marcha el invernadero experimental, sin embargo, esta inversión sigue siendo alta y está fuera del alcance de la mayoría de los agricultores del área rural. Sin embargo, es necesario mencionar que hay distintos programas tanto de gobierno como de organizaciones privadas que pudieran brindar el apoyo financiero necesario para este tipo de proyectos y así contribuir al desarrollo de la agricultura a nivel nacional.
2. De acuerdo al análisis de rentabilidad, los costos de operación del invernadero hidropónico se reducen al costo de electricidad, agua y fertilizantes utilizados para la preparación de la solución nutritiva. Esto, aunado a la posibilidad de producir en áreas cercanas a los centros urbanos reduce los costos de comercialización del producto por lo que los porcentajes de rentabilidad tienden a ser altos y los tiempos de retorno de la inversión bajos.
3. La duración de las etapas fenológicas del cultivo del tomate en el invernadero fue muy similar a las etapas que se reportan para el desarrollo del tomate sembrado en campo y que utiliza prácticas agrícolas tradicionales. Una de las diferencias se pudo observar en la fase que comprende desde el establecimiento del semillero hasta el trasplante de las plántulas a los recipientes hidropónicos, que se prolongó por 5 días más que el reportado por CATIE. Esta diferencia pudo ser ocasionada por varios factores que consideran principalmente

- variaciones respecto a la temperatura y radiación solar en los días en que se estableció el semillero.
4. La implementación de invernaderos con sistemas hidropónicos se debe hacer a gran escala ya que si se hace en espacios reducidos, como en el presente caso, los costos iniciales y de operación sobrepasan los ingresos percibidos por la venta de los frutos cosechados. Es importante que cuando se diseñe un sistema hidropónico NFT, se aprovechen al máximo los insumos empleados, por ejemplo, el tamaño del sistema hidropónico debe estar en función del caudal de la bomba centrífuga ya que es necesario garantizar un caudal mínimo (2.5 litros/minuto) en los canales de riego.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Para definir el tamaño del invernadero se debe calcular en primer lugar el tamaño del sistema hidropónico, de lo contrario se corre el riesgo de no aprovechar al máximo su capacidad productiva, lo que repercutirá en altos costos de operación y bajo rendimiento.
2. Se observó un aumento constante en la conductividad eléctrica de la solución nutritiva debido a que las sales disueltas en la misma quedaban atrapadas en las raíces de las plantas, por lo que se recomienda adicionar periódicamente agua sin nutrientes para que la concentración de sales baje y no se vea afectado el proceso de absorción de nutrientes en las raíces de las plantas.
3. A pesar de estar en un área urbana, hacia el final del ciclo productivo de la plantación se observó un pequeño brote de mosca blanca. Dicho insecto pudo ingresar al invernadero porque no se tenía ningún tipo de aislamiento en las puertas y paredes del mismo, por lo que es indispensable considerar en los costos de inversión una malla protectora que evite la incidencia de plagas y enfermedades por el ingreso de insectos al cultivo.
4. Una bomba centrífuga con caudal de 12 galones por minuto puede soportar un total de 18 canales de riego, por lo que para aprovechar al máximo el potencial del sistema hidropónico el tamaño del invernadero utilizando este tipo de bombas deberá tener por lo menos 8 metros de ancho por 15 de largo con un área total de 120 metros cuadrados.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- AGREQUIMA. (2012). *Impacto social y económico del sector agrícola guatemalteco sobre la economía nacional*. Guatemala.
- Ardalan, A. (2000). *Economic & Financial Analysis for Engineering & Project Management*. Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Company, Inc.
- Asociación Amigos del País. (1994). *Historia General del Guatemala Vol. I: Epoca precolombina*. Guatemala: Fundación para la Cultura y el Desarrollo.
- Asociación mexicana de constructores de invernaderos. (20 de Octubre de 2014). *Rangos de precios sugeridos para 5 tipos de invernaderos en Mexico*. Obtenido de Firco:
http://www.firco.gob.mx/proyectos/proap/documents/presentacion_rangos_precios_proap_2010.pdf
- Benton, J. (2005). *Hydroponics: A practical Guide for the Soilless Grower*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Brown, L. (1985). *Semillas de Cambio*. Montevideo: Hemisferio Sur.
- Calderon Tobar, E. A. (2001). *Paradojas Inéditas en Tierras Guatemaltecas*. (A. y. Instituto de Investigaciones Históricas, Ed.) Guatemala: Escuela de Historia. USAC.
- Carmona Mejorada, B. (2004). *Las patentes de transgénicos como mecanismo de dominación de los países desarrollados. Análisis de la situación en México y Estados Unidos*. Puebla: Universidad de las Américas.
- Carolina Garden. (5 de Septiembre de 2013). *Carolina Garden, Revista Digital de Plantas y Flores*. Obtenido de Carolina Garden:
<http://carolinagarden.wordpress.com/2009/06/29/la-planta-sus-partes-y-funciones/>
- Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala; La técnica de la solución nutritiva recirculante "NFT"*. Talca, Chile: Editorial Universidad de Talca.
- Castellanos Cambranes, J. C. (1992). *500 Años de Lucha por la Tierra*. Guatemala, Guatemala: FLACSO.
- Castellanos, J. (1986). *Introducción a la Historia Agraria de Guatemala (1500-1900)*. Guatemala: Serviprensa Centroamericana.

- Castellanos, J. (1992). *500 años de Lucha por la Tierra, Volumen 1 y 2*. Guatemala: FLACSO.
- Castillo Montejó, M. R. (2007). *La enseñanza agrícola en Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- CATIE. (1990). *Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de tomate*. Turrialba: CATIE.
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. (19 de Octubre de 2013). *CENTA.gob.sv*. Obtenido de CENTA: <http://www.centa.gob.sv/sidia/pdf/produccion/Construccion%20y%20uso%20de%20invernaderos%20artesanales.pdf>
- Christensen, J. (15 de octubre de 2013). *ehowenespañol*. Obtenido de ehow: http://www.ehowenespanol.com/son-determinados-tomates-roma-info_184689/
- Cubero, J., & Moreno, M. (1993). *La agricultura del siglo XXI*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Da Silva, e. a. (1992). *Biotechnology economica and social aspects*. Londres: University Press.
- De Leon, E. (2008). *Hidroponía, Manual dirigido a estudiantes*. Guatemala: UVG de Guatemala y Funcación Soros.
- Encycopaedia Britannica. (27 de Agosto de 2013). *Encycopaedia Britannica*. Obtenido de Encycopaedia Britannica: www.britannica.com/search?query=hydroponics
- FAO. (2009). *Socio-Economic Impacts of Non-Transgenic Biotechnologies in Developing Countries*. Roma: Communication Division FAO.
- Girard, R. (1977). *Historia de las civilizaciones antiguas de América*. Mexico: Editores Mexicanos Unidos.
- Gramajo, M. (2008). *Análisis de la institucionalidad agraria en Guatemala después de la firma de los acuerdo de paz 1996-2005*. Guatemala: Escuela de Historia USAC.
- Guerra Borges, A. (2006). *Guatemala: 60 años de historia económica (1944-2004)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Herrán Alonso, M. (s.f.). *El Problema Agrario en Guatemala y el Papel de la Cooperación Oficial en la Configuración del Catastro Nacional*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- HMA . (2004). *HMA Media Kit*. Mannasas, Va .
- Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzman, M., & Zapata, M. (2006). *El cultivo de tomate bajo invernadero*. Antioquia, Colombia: Centro de Investigación La Selva.

- Jensen, M. (1971). *The use of Polyethylene Barriers Between Soil and Growing Medium in Greenhouse Vegetable Production*. University of Arizona, Environmental Research Laboratory, Tucson, AZ.
- Jensen, M., & Malter, A. (1995). *Protected Agriculture: A Global Review*. The World Bank, Technical Paper # 253, Washington, DC.
- Jones, J. (2005). *Hidroponics: A practical guide for the soilless grower*. New York: CRC Press.
- Mancilla, J. R. (2004). *Organización y sistematización contable para la producción de tomate manzano en la Aldea Estancia Vieja, San Raymundo Guatemala*. Guatemala: USAC.
- Marulanda, C. (2003). *Manual Técnico La Huerta Hidropónica Popular Manual, Curso Audiovisual*. Santiago, Chile: FAO.
- Mendoza, J. (2000). *Evaluación de agentes biológicos en el control de gusanos del fruto del tomate bajo las condiciones del valle de Guatemala*. Guatemala: USAC.
- Montejo, N. (2009). *Comercialización (producción de tomate) y proyecto: Producción de melón*. Guatemala: USAC.
- Nutriculture. (28 de Agosto de 2013). *Nutriculture Pioneering Hydroponics*. Obtenido de Nutriculture: <http://www.nutriculture.es/abouthydroponics.html>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (21 de Agosto de 2013). *FAO Sala de Prensa*. Obtenido de <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2004/41714/index.html>
- Ortiz Rosales, R. E. (2002). *Guatemala: Política Agraria en la segunda mitad del siglo XXI*. Guatemala: Departamento de Publicaciones, Facultad de Ciencias Económicas, USAC.
- Overton, M. (1996). *Agricultural revolution in England*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Palma, G., Taracena, A., & Oyarzún, J. A. (2002). *Procesos Agrarios desde el Siglo XVI a los Acuerdos de Paz*. Guatemala: FLACSO-GUATEMALA.
- Rioux, J. (1970). Las etapas del crecimiento económico. En W. Withman, *Les Etapes de la croissance économique, Le Seuil* (pág. 104).
- Sandoval Villeda, L. (1992). El Problema Agrario Guatemalteco: Evolución y Opciones. En J. Castellanos Cambranes, *500 años de lucha por la tierra*.

- Estudios sobre propiedad rural y reforma agraria en Guatemala* (págs. 211-263). Guatemala: FLACSO.
- Saquimux Canastuj, G. R. (2011). *El Desarrollo Rural en Guatemala: Análisis del Contexto Histórico y Posibilidades de Implementación*. Guatemala: USAC.
- Solórzano, V. (1977). *Evolución Económica de Guatemala*. (p. N. Ministerio de Educación, Ed.) Guatemala: José Pineda Ibarra.
- Teranishi, R. (1978). *Agricultural and food chemistry past, present, future*. USDA. una-gauchada.com. (3 de Septiembre de 2013). *una-gauchada.com*. Obtenido de [www.una-gauchada.com: http://www.una-gauchada.com/agro/hidroponia-perspectivas-y-futuro-297.html](http://www.una-gauchada.com/agro/hidroponia-perspectivas-y-futuro-297.html)
- Vasey, D. (1992). *An ecological history of agriculture*. Iowa : Iowa State: University Press.
- Wikipedia. (27 de Agosto de 2013). *Wikipedia*. Obtenido de es.wikipedia.org/wiki/Hidroponía
- WordReference.com. (27 de Agosto de 2013). *WordReference*. Obtenido de www.wordreference.com/definicion/hidroponía

X. ANEXOS

A. Anexo 1

Cuadro 16: Detalle de insumos utilizados para la construcción del invernadero, sistema hidropónico y solución nutritiva.

Producción hidropónica de tomate bajo invernadero

Tipo	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Total
Sist. hidropónico	tuvo pvc naranja de 3	3	Q87.00	Q261.00
Sist. hidropónico	Medidor para ph/ec/tds	1	Q2,072.93	Q2,072.93
Sist. hidropónico	Bomba centrífuga	1	Q350.00	Q350.00
Sist. hidropónico	Madera 2x2x9	22	Q15.00	Q330.00
Sist. hidropónico	kit solución tomate	7	Q35.00	Q245.00
Sist. hidropónico	Solución de 12880 ec	1	Q168.08	Q168.08
Sist. hidropónico	Solución de almacenamiento	1	Q168.08	Q168.08
Sist. hidropónico	solución limpieza usos generales	1	Q168.08	Q168.08
Sist. hidropónico	Solución ph 4.01	1	Q168.08	Q168.08
Sist. hidropónico	Solución ph 7.01	1	Q168.08	Q168.08
Sist. hidropónico	planchas de duroport 100*50*2	24	Q7.00	Q168.00
Sist. hidropónico	Accesorios para bomba centrífuga	1	Q145.00	Q145.00
Sist. hidropónico	Canaleta galvanizada	2	Q70.00	Q140.00
Sist. hidropónico	Tinaco de 200 litros	1	Q120.00	Q120.00
Sist. hidropónico	Canal redondo con tope	2	Q54.00	Q108.00
Sist. hidropónico	Tuvo pvc agua potable 3/4	3	Q35.00	Q105.00
Sist. hidropónico	Yarda naylon 40 negro	8	Q11.00	Q88.00
Sist. hidropónico	Tapon hembra liso 3 pvc	2	Q39.00	Q78.00
Sist. hidropónico	codo de 3 pvc drenaje 90 grados	3	Q22.00	Q66.00
Sist. hidropónico	Empaques y recipientes plasticos	1	Q62.95	Q62.95
Sist. hidropónico	Sustrato para germinación	2	Q29.99	Q59.98
Sist. hidropónico	Bandeja para germinar	1	Q34.99	Q34.99
Sist. hidropónico	Piedra poma	1	Q29.99	Q29.99
Sist. hidropónico	Tee doble 1/4	1	Q24.99	Q24.99
Sist. hidropónico	Tee lisa de 3	1	Q22.00	Q22.00
Sist. hidropónico	Vasos plasticos juego	3	Q7.00	Q21.00
Sist. hidropónico	Semilla de chile pimiento	1	Q19.99	Q19.99
Sist. hidropónico	Pegamento poxipol transparente 14	1	Q18.50	Q18.50
Sist. hidropónico	Abrazadera ducto doble oreja 3	3	Q6.00	Q18.00
Sist. hidropónico	Conector de doble 1/4	1	Q16.99	Q16.99
Sist. hidropónico	Semilla de tomate roma	1	Q15.00	Q15.00
Sist. hidropónico	Pegamento PVC 25 gr	1	Q12.99	Q12.99
Sist. hidropónico	codo liso de 3/4	4	Q3.23	Q12.92
Sist. hidropónico	Net pott (recipiente hidropónico)	20	Q0.50	Q10.00
Sist. hidropónico	Tapon Liso PVC 1/2	5	Q2.00	Q10.00
Sist. hidropónico	Union pvc gris p drenaje de 3	1	Q10.00	Q10.00
Sist. hidropónico	Tuvo PVC 1/2	2	Q4.49	Q8.98

Tipo	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Total
Sist. hidropónico	Acesorios varios pvc	1	Q8.30	Q8.30
Sist. hidropónico	1/2 lb tachuelas 2/8	1	Q7.00	Q7.00
Sist. hidropónico	Adaptador macho	1	Q6.99	Q6.99
Sist. hidropónico	Adaptador hembra	1	Q3.49	Q3.49
Sist. hidropónico	Tornillo de 1/4	6	Q0.50	Q3.00
Sist. hidropónico	T de PVC 1/2	1	Q2.49	Q2.49
Sist. hidropónico	Teflon 10 mt 1/2	1	Q1.99	Q1.99
Invernadero	Madera 2x3x9	49	Q20.00	Q980.00
Invernadero	Combo cortadora circular + lijadora	1	Q725.00	Q725.00
Invernadero	Lam acan plast cl 85 natural 8´	10	Q68.00	Q680.00
Invernadero	Lam acan plast cl 85 blanco 8´	8	Q65.00	Q520.00
Invernadero	Yarda naylor 72 transpatente	22	Q19.00	Q418.00
Invernadero	Rotomartillo profesional	1	Q399.99	Q399.99
Invernadero	Pintura blanca gl.	2	Q75.00	Q150.00
Invernadero	Madera 1X2X6	13	Q9.00	Q117.00
Invernadero	2 sargento gris chino	2	Q39.00	Q78.00
Invernadero	Madera 1X2X6	8	Q9.00	Q72.00
Invernadero	Madera 1X2X6	7	Q9.00	Q63.00
Invernadero	Juego de 6 brocas planas	1	Q59.99	Q59.99
Invernadero	Juego de brocas sierra	1	Q59.99	Q59.99
Invernadero	lb. Clavo de 3"	6	Q6.50	Q39.00
Invernadero	lb. Clavo 2"	5	Q6.50	Q32.50
Invernadero	lb. Clavo para lámina	4	Q8.00	Q32.00
Invernadero	Madera 1x6x10	1	Q23.00	Q23.00
Invernadero	Anteojos protectores	1	Q19.99	Q19.99
Invernadero	lb. Clavo 4"	2	Q6.50	Q13.00
Nutrientes	Yara Complex lb	2	Q75.00	Q150.00
Nutrientes	Manganeso stoller 5% lt	1	Q80.00	Q80.00
Nutrientes	Magnesio 4% lt	1	Q75.00	Q75.00
Nutrientes	Vitafon lt.	1	Q68.00	Q68.00
Nutrientes	Atlántica lb	1	Q65.00	Q65.00
Nutrientes	Beauty Natural lb.	1	Q65.00	Q65.00
Nutrientes	Hierro Stoller 5% lt	1	Q65.00	Q65.00
Nutrientes	Nitrato de Calcio lb	6	Q10.50	Q63.00
Nutrientes	Sulfato de potasio	4	Q12.00	Q48.00
Nutrientes	kit solución estandar	1	Q30.00	Q30.00
COSTO TOTAL				Q10,751.32

Fuente: Elaboración propia, 2012

B. Anexo 2

**Cuadro 17: Detalle de control de cosecha de tomate.
Producción hidropónica de tomate bajo invernadero.**

Fecha	Cantidad de frutos	Peso total gr	Peso promedio gr	Peso total lb	Peso Acumulado lb	Ingresos	Ingresos acumulados
28/01/2013	4	200	50.00	0.44		Q1.53	
01/02/2013	14	456	32.57	1.00	1.44	Q3.50	Q5.03
05/02/2013	18	750	41.67	1.64	3.08	Q5.75	Q10.78
06/02/2013	2	160	80.00	0.35	3.43	Q1.23	Q12.01
07/02/2013	14	680	48.57	1.49	4.92	Q5.22	Q17.23
08/02/2013	10	400	40.00	0.88	5.80	Q3.07	Q20.30
09/02/2013	19	820	43.16	1.80	7.60	Q6.29	Q26.59
10/02/2013	14	640	45.71	1.40	9.00	Q4.91	Q31.49
11/02/2013	13	680	52.31	1.49	10.49	Q5.22	Q36.71
12/02/2013	19	1000	52.63	2.19	12.68	Q7.67	Q44.38
12/02/2013	7	200	28.57	0.44	13.12	Q1.53	Q45.91
15/02/2013	25	1600	64.00	3.51	16.63	Q12.27	Q58.19
16/02/2013	17	1140	53.64	2.50	19.12	Q8.74	Q66.93
18/02/2013	21	1340	53.97	2.94	22.06	Q10.28	Q77.21
19/02/2013	18	1320	73.32	2.89	24.95	Q10.12	Q87.33
20/02/2013	23	1722	74.89	3.77	28.73	Q13.21	Q100.55
21/02/2013	25	1584	63.35	3.47	32.20	Q12.15	Q112.69
22/02/2013	22	1640	74.53	3.59	35.79	Q12.58	Q125.27
23/02/2013	31	2237	72.17	4.90	40.69	Q17.16	Q142.43
24/02/2013	20	1327	66.37	2.91	43.60	Q10.18	Q152.61
25/02/2013	34	2499	73.49	5.48	49.08	Q19.17	Q171.78
26/02/2013	30	1833	61.11	4.02	53.10	Q14.06	Q185.84
27/02/2013	22	1296	58.92	2.84	55.94	Q9.94	Q195.78
28/02/2013	38	2404	63.25	5.27	61.21	Q18.44	Q214.22
01/03/2013	29	2301	79.34	5.04	66.25	Q17.65	Q231.87
02/03/2013	23	1432	62.27	3.14	69.39	Q10.99	Q242.85
03/03/2013	34	2343	68.91	5.13	74.52	Q17.97	Q260.82
04/03/2013	45	3066	68.14	6.72	81.24	Q23.52	Q284.34
05/03/2013	21	1476	70.27	3.23	84.48	Q11.32	Q295.66
06/03/2013	38	2699	71.03	5.92	90.39	Q20.70	Q316.37
07/03/2013	31	2088	67.37	4.58	94.97	Q16.02	Q332.39
08/03/2013	45	3221	71.58	7.06	102.03	Q24.71	Q357.09
09/03/2013	21	1341	63.84	2.94	104.96	Q10.28	Q367.38
10/03/2013	34	2167	63.74	4.75	109.71	Q16.62	Q384.00
11/03/2013	32	2082	65.07	4.56	114.28	Q15.97	Q399.97
12/03/2013	23	1691	73.53	3.71	117.98	Q12.97	Q412.94
13/03/2013	25	1865	74.58	4.09	122.07	Q14.30	Q427.24
14/03/2013	21	1143	54.45	2.51	124.58	Q8.77	Q436.01

Fecha	Cantidad de frutos	Peso total gr	Peso promedio gr	Peso total lb	Peso Acumulado lb	Ingresos	Ingresos acumulados
15/03/2013	34	1783	52.45	3.91	128.48	Q13.68	Q449.69
16/03/2013	28	1940	69.29	4.25	132.74	Q14.88	Q464.57
17/03/2013	23	1452	63.14	3.18	135.92	Q11.14	Q475.71
18/03/2013	37	2118	57.25	4.64	140.56	Q16.25	Q491.96
19/03/2013	23	1182	51.38	2.59	143.15	Q9.06	Q501.03
20/03/2013	18	1397	77.62	3.06	146.21	Q10.72	Q511.74
21/03/2013	34	2604	76.60	5.71	151.92	Q19.98	Q531.72
22/03/2013	23	1206	52.42	2.64	154.56	Q9.25	Q540.97
23/03/2013	34	1137	33.44	2.49	157.05	Q8.72	Q549.69
24/03/2013	21	763	36.35	1.67	158.73	Q5.86	Q555.54
25/03/2013	24	1043	43.47	2.29	161.01	Q8.00	Q563.55
26/03/2013	19	962	50.64	2.11	163.12	Q7.38	Q570.93
27/03/2013	17	607	35.70	1.33	164.45	Q4.66	Q575.58
28/03/2013	14	804	57.40	1.76	166.21	Q6.16	Q581.75

Fuente: Elaboración propia (2013)

C. Anexo 3

Cuadro 18: Detalle de control de pH, Conductividad Eléctrica y consumo de agua. Producción hidropónica de tomate bajo invernadero

Fecha	pH	mS	Cantidad en tanque (lt)	Consumo diario (lt)
06/11/2012	7.20	2.4	200	10
07/11/2012	7.10	2.32	190	11
08/11/2012	6.97	2.2	178	8
09/11/2012	6.89	2.17	166	8
10/11/2012	6.76	2.12	154	11
11/11/2012	6.66	2.09	142	9
12/11/2012	6.54	1.98	130	11
13/11/2012	6.47	1.95	118	10
14/11/2012	6.38	1.93	106	8
15/11/2012	6.22	1.93	94	12
16/11/2012	6.11	1.87	82	11
17/11/2012	6.02	1.76	70	8
18/11/2012	5.95	1.72	62	10
19/11/2012	5.80	1.67	52	9
20/11/2012	7.12	2.21	200	16
21/11/2012	6.92	2.23	184	11
22/11/2012	6.75	2.31	173	12
23/11/2012	6.56	2.37	161	16

Fecha	pH	mS	Cantidad en tanque (lt)	Consumo diario (lt)
24/11/2012	6.46	2.45	145	13
25/11/2012	6.30	2.79	132	13
26/11/2012	6.12	2.84	119	15
27/11/2012	6.00	2.93	104	15
28/11/2012	5.81	3.01	89	15
29/11/2012	5.68	3.12	74	12
30/11/2012	5.56	3.18	62	13
01/12/2012	5.41	3.26	49	16
02/12/2012	7.80	2.21	200	14
03/12/2012	7.63	2.29	186	12
04/12/2012	7.45	2.34	174	17
05/12/2012	7.28	2.45	157	14
06/12/2012	7.16	2.57	143	18
07/12/2012	6.98	2.69	125	14
08/12/2012	6.54	2.81	111	18
09/12/2012	6.13	2.92	93	13
10/12/2012	5.88	3.03	80	18
11/12/2012	5.65	3.12	62	14
12/12/2012	5.30	3.3	48	19
13/12/2012	7.40	2.19	200	16
14/12/2012	7.09	2.29	184	14
15/12/2012	6.86	2.36	170	18
16/12/2012	6.62	2.58	152	14
17/12/2012	6.34	2.71	138	18
18/12/2012	6.06	2.91	120	21
19/12/2012	5.77	3.05	99	24
20/12/2012	7.32	3.31	75	19
21/12/2012	7.06	3.54	56	18
22/12/2012	6.81	3.76	38	20
23/12/2012	7.86	2.12	200	17
24/12/2012	7.62	2.31	183	18
25/12/2012	7.19	2.54	165	19
26/12/2012	6.82	2.78	146	19
27/12/2012	6.39	2.89	127	19
28/12/2012	6.08	3.03	108	28
29/12/2012	5.69	3.21	80	26
30/12/2012	5.35	3.49	54	31
31/12/2012	7.80	2.24	200	24
01/01/2013	7.42	2.49	176	31
02/01/2013	7.03	2.63	145	29
03/01/2013	6.65	2.89	116	32
04/01/2013	6.29	3.07	84	26

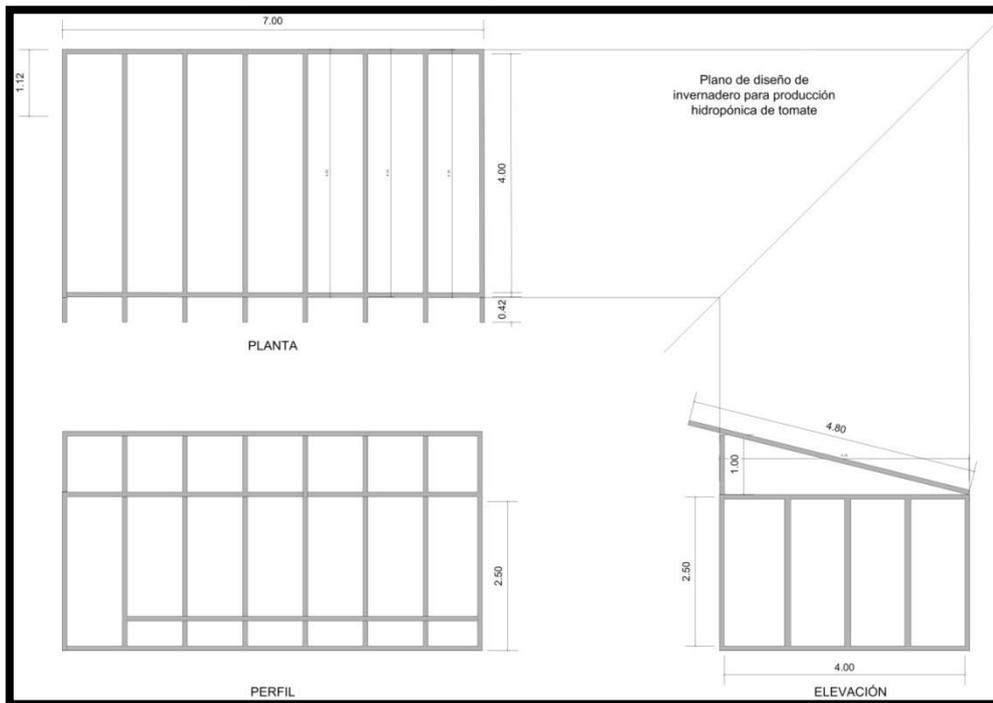
Fecha	pH	mS	Cantidad en tanque (lt)	Consumo diario (lt)
05/01/2013	5.87	3.24	58	26
06/01/2013	5.45	3.35	32	24
07/01/2013	7.05	2.42	200	32
08/01/2013	6.75	2.6	168	28
09/01/2013	6.37	2.87	140	24
10/01/2013	6.00	3.09	116	31
11/01/2013	5.59	3.23	85	26
12/01/2013	5.22	3.45	59	31
13/01/2013	4.88	3.73	28	29
14/01/2013	7.04	2.23	200	30
15/01/2013	6.74	2.45	170	29
16/01/2013	6.38	2.59	141	25
17/01/2013	6.08	2.81	116	24
18/01/2013	5.67	3.05	92	29
19/01/2013	5.25	3.45	63	30
20/01/2013	4.81	3.87	33	27
21/01/2013	7.42	2.17	200	31
22/01/2013	7.08	2.45	169	26
23/01/2013	6.70	2.69	143	25
24/01/2013	6.05	2.87	118	31
25/01/2013	5.40	3.13	87	29
26/01/2013	4.90	3.36	58	26
27/01/2013	4.26	3.59	32	25
28/01/2013	7.64	2.24	200	32
29/01/2013	7.17	2.79	168	32
30/01/2013	6.56	3.11	136	26
31/01/2013	6.04	3.48	110	24
01/02/2013	5.53	3.78	86	28
02/02/2013	4.99	4.03	58	29
03/02/2013	6.23	3.35	100	33
04/02/2013	5.66	3.68	67	33
05/02/2013	5.10	3.98	34	33
06/02/2013	7.34	2.18	200	34
07/02/2013	6.85	2.34	166	37
08/02/2013	6.30	2.64	129	31
09/02/2013	5.78	2.97	98	37
10/02/2013	5.16	3.12	61	29
11/02/2013	4.73	3.56	32	30
12/02/2013	7.44	2.22	200	31
13/02/2013	6.93	2.58	169	35
14/02/2013	6.41	2.93	134	32
15/02/2013	5.85	3.23	102	34

Fecha	pH	mS	Cantidad en tanque (lt)	Consumo diario (lt)
16/02/2013	5.44	3.68	68	28
17/02/2013	5.01	3.99	40	35
18/02/2013	5.87	3.22	100	27
19/02/2013	5.38	3.56	73	27
20/02/2013	4.87	3.87	46	37
21/02/2013	7.25	2.17	200	34
22/02/2013	6.97	2.48	166	38
23/02/2013	6.77	2.77	128	31
24/02/2013	6.60	3.02	97	30
25/02/2013	6.05	3.45	67	28
26/02/2013	5.59	3.98	39	36
27/02/2013	7.83	2.16	200	34
28/02/2013	7.35	2.43	166	34
01/03/2013	6.95	2.98	132	30
02/03/2013	6.52	3.12	102	39
03/03/2013	5.99	3.56	63	28
04/03/2013	5.45	3.99	35	27
05/03/2013	7.83	2.13	200	22
06/03/2013	7.67	2.4	178	31
07/03/2013	7.50	2.76	147	22
08/03/2013	7.34	2.95	125	30
09/03/2013	7.15	3.3	95	25
10/03/2013	6.61	3.65	70	31
11/03/2013	6.45	3.91	39	32
12/03/2013	7.90	1.93	200	21
13/03/2013	7.71	2.32	179	25
14/03/2013	7.44	2.56	154	31
15/03/2013	7.11	2.9	123	21

Fuente: Elaboración propia (2013)

D. Anexo 4

Imagen 2: Planta, Elevación y Perfil del Invernadero utilizado.



Fuente: Elaboración propia, 2012

Imagen 3: Tanque colector con la bomba centrífuga, tubería de distribución y tubería de drenaje.



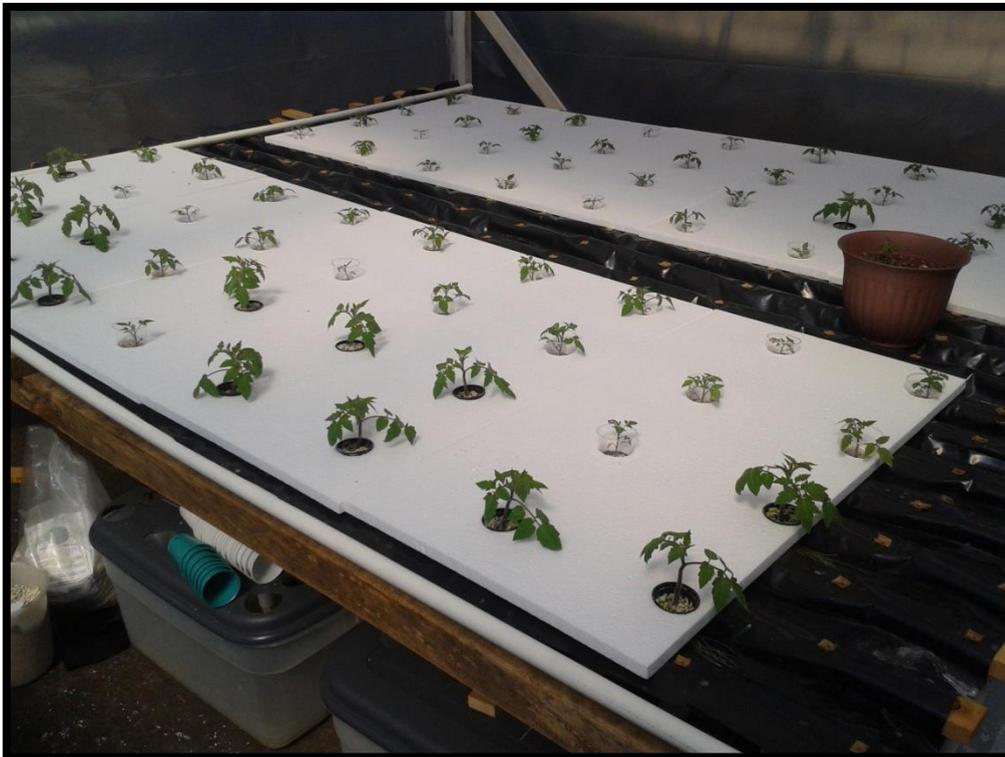
Fuente: Elaboración propia, 2012

Imagen 4: Timer utilizado para controlar los tiempos de encendido de la bomba centrífuga.



Fuente: Elaboración propia, 2013

Imagen 5: Sistema de riego con tubería PVC de 3/4 que se utilizó en las orillas de la mesa No.1



Fuente: Elaboración propia, 2012

Imagen 6: Canal de riego de 8 cm de ancho en la base.



Fuente: Elaboración propia, 2012

Imagen 7: Canal de riego de 16 cm de ancho en la base.



Fuente: Elaboración propia, 2012

Imagen 8: Recipiente comprado en tienda especializada en artículos hidropónicos.



Fuente: Elaboración propia, 2013

Imagen 9: Recipiente hecho en casa de manera artesanal



Fuente: Elaboración propia, 2013

Imagen 10: Canales de riego de 16 cm de base que desembocan en la canaleta y luego la tubería de 3" de diámetro.



Fuente: Elaboración propia, 2012

Imagen 11: Bandeja germinadora con sustrato húmedo y bolsa plástica para retener humedad y calor.



Fuente: Elaboración propia, 2012

Imagen 12: Recipiente con mezcla de solución nutritiva para propiciar crecimiento de raíces.



Fuente: Elaboración propia, 2012

Imagen 13: Distanciamiento entre plantas en la mesa No. 1



Fuente: Elaboración propia, 2012

Imagen 14: Instrumento utilizado para medir el pH, C.E y Temperatura.



Fuente: Elaboración propia, 2013

Imagen 15: Raíz de tomate muerta por falta de oxígeno en la solución nutritiva.



Fuente: Elaboración propia, 2012

Imagen 16: Balanza utilizada para pesar el producto cosechado



Fuente: Elaboración propia, 2012