

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR EN UN SISTEMA
DE RIEGO AUTOMATIZADO**

POR:

MABEL ONEYDA ORTIZ VELAZQUEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DEL 2014

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR EN UN SISTEMA DE RIEGO
AUTOMATIZADO**

POR:

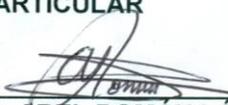
MABEL ONEYDA ORTIZ VELAZQUEZ

TESIS

**QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

COMITÉ PARTICULAR

ASESOR PRINCIPAL



MC. ABEL ROMÁN LÓPEZ

**ASESOR PRINCIPAL
EXTERNO**



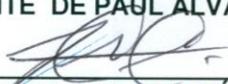
PhD. MARCO ANTONIO INZUNZA IBARRA

ASESOR

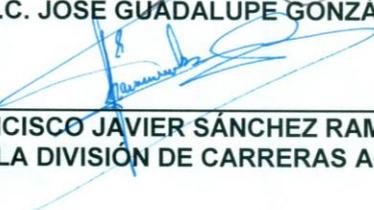


PhD. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA

ASESOR



M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZÁLEZ QUIRINO



**DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Junio de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

POR

MABEL ONEYDA ORTIZ VELAZQUEZ

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

PRESIDENTE



MC. ABEL ROMÁN LÓPEZ

VOCAL



PhD. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA

VOCAL



PhD. MARCO ANTONIO INZUNZA IBARRA

VOCAL SUPLENTE



M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Junio de 2014

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por permitirme terminar esta etapa importante de mi vida, por su grande amor y cuidado sobre mí.

A LA UAAAN por su apoyo brindado en el transcurso de este proceso.

Al CENID-RASPA, INIFAP de Gómez palacio Durango, donde se realizó el presente trabajo.

Al MC. Abel Román López por su apoyo, dirección y asesoría en la realización de este trabajo de investigación.

A los asesores de la presente investigación por su apoyo y dirección en la realización de este trabajo de investigación.

PhD. Marco Antonio Inzunza Ibarra

PhD. Vicente de Paul Álvarez Reyna

M.C. Federico Vega Sotelo

M.C. José Guadalupe González Quirino

Al Ing. Jesús Alfredo Carrillo O. por el apoyo brindado en el trabajo de campo en esta investigación.

A mis profesores por trasmitirme sus conocimientos que es de gran utilidad en el campo laboral.

A mis compañeros, por sus amistad.

DEDICATORIA

A TI MI DIOS

Los cielos cuentan la gloria de Dios, y el firmamento anuncia la obra de sus manos.

*Padre, tu nos has sido refugio de generación en generación antes de que saliesen los montes
y formases la tierra y el mundo, desde el siglo y hasta el siglo, tu eres Dios.*

Porque tú, oh Señor Jehová, eres mi esperanza, Seguridad mía desde mi juventud.

*En ti he sido sustentado desde el vientre; de las entrañas de mi madre tú fuiste el que me
sacó; de ti será siempre mi alabanza.*

Exaltado seas sobre los cielos, oh Dios, y sobre toda la tierra sea enaltecida tu gloria.

*Gracias Padre, por tu misericordia, porque hasta aquí tú me has ayudado y lo que soy te lo
debo a ti.*

*Gracias por la familia hermosa que me has dado, por su amor y apoyo, guárdalos como a la
niña te tus ojos, gracias por prestarme a mi papa Herman (q. e. p. d.), bendice a mi mamita
Silvia, a mis hermanas, Mayelita, maquita, carito, Deyita, Elvita y Lucerito, a mis
sobrinos, Yuli, Jazmín, Breadly, Nelsito, Jorgito, Yeison.*

Gracias por mis abuelos: Joaquín, Flora y Francisca, bendícelos, guárdalos.

*Gracias por aquellas personas que siguen siendo parte muy importante en mi vida:
Minerva, Estefanía, Yaneli, Fabi, Gema, Eyma, Ángel, Ramón, Israel, Rafael, Rosa,
Enrique.*

*Gracias por permitirme conocerte y darme el privilegio de conocer a tu iglesia, aquel
remanente que se mantiene fiel y en santidad, bendícelos y guárdalos.*

Guárdame como a la niña de tus ojos; escóndeme bajo la sombra de tus alas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Energía solar fotovoltaica	4
2.2. Configuraciones típicas de bombeo FV	4
2.2.1. Subsistema motor bomba	5
2.2.1.1. Motores.....	5
2.2.2. Celdas fotovoltaicas	6
2.3. Energía FV para bombeo e irrigación.....	6
2.3.1. Situación y economía.....	7
2.4. Automatización de sistemas de riego localizado.....	8
2.4.1. Tipos de automatización	9
2.4.1.1. Automatización eléctrica-electrónica.....	9
2.4.1.2. Controles accionados por mecanismos de reloj	11
2.4.1.3. Controladores accionados por medio de sensores.	13
2.5. Origen del chile habanero	13
2.6. Clasificación taxonómica.....	14
2.7. Descripción botánica	15
2.8. Variedades.....	15
2.8.1. Variedad Jaguar	16
2.8.2. El Híbrido Chichén Itzá.....	16
2.8.3. El Híbrido Kukulkán.....	16

2.9. Propiedades del chile habanero.....	17
2.10. Situación de mercado de chile habanero	17
2.11. Potencial de producción de habanero en invernadero.....	18
2.11.1. Elección del tipo de invernadero.....	19
2.12. Potencial de producción de chile habanero en casa sombra o malla sombra.....	19
2.13. Producción de chile habanero en condiciones normales.....	21
2.13.1. Preparación del terreno.....	21
2.13.2. Densidades de población y distanciamiento.....	21
2.13.3. Trasplante.....	22
2.13.4. Labores culturales.....	22
2.13.4.1. Poda.....	22
2.13.4.2. Aporque.....	23
2.13.4.3. Fertilización.....	23
2.13.4.3.1. Programa de fertilización.....	23
2.13.4.3.2. Aplicación de fertilizantes foliares.....	25
2.13.4.4. Control de maleza.....	26
2.13.5. Riego.....	27
2.13.6. Cosecha.....	28
2.13.7. Principales enfermedades	28
2.13.8. Principales plagas.....	29
2.14. Arenas salitrosas en cultivos	31
2.14.1. Arena.....	32
2.14.2. Los suelos afectados.....	32
2.14.3. Recuperación de suelos salinos.....	32
2.15. Aborto de flores por exceso de temperatura.....	33
2.16. Problemas de algas en suelos de fertirriego.....	33
II. MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1. Localización geográfica del sitio experimental.....	35
3.2. Fertirrigación.....	36
3.3. Manejo del cultivo	38
3.3.1. Siembra y trasplante.....	38
3.3.2. Riego.....	39

3.3.3. Tutorado.....	40
3.3.4. Deshojado.....	41
3.3.5. Aplicación de pesticidas	42
3.3.6. Aplicación de fertilizantes foliares.....	42
3.3.7. Escarda	42
3.4. Cosecha	42
3.5. Variables evaluadas	44
3.6. Suma de cuadrados	44
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4.1. Lamina de riego aplicado y control de humedad en el riego	45
4.2. Temperatura en chile habanero	47
4.3. Agua y energía requerida en el riego	48
4.4. Rendimiento de fruto fresco	50
V. CONCLUSIONES	53
VI. BIBLIOGRAFIA	54

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Principales enfermedades en el cultivo de chile habanero (Prado, 2006). -----	29
Cuadro 2.	Principales plagas en el cultivo de chile habanero (Prado, 2006). -----	30
Cuadro 3.	Concentración de nutrimentos usada en las diferentes soluciones.-----	36
Cuadro 4.	Soluciones para la aplicación diaria de la fertirrigación.-----	37
Cuadro 5.	Metros lineal muestreados de planta de chile Habanero, para la obtención del rendimiento promedio Kg m ⁻¹ .-----	51

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pagina
Figura 1.	Elementos básicos de un sistema de bombeo FV. -----	5
Figura 2.	Instalación típica de tubería y cable a un controlador eléctrico.	10
Figura 3.	Representación esquemática de un sistema de riego automatizado. -----	11
Figura 4	Controlador eléctrico-electrónico de botones (Román <i>et al.</i> , 2008). -----	12
Figura 5.	Controlador eléctrico-electrónico digital (Román <i>et al.</i> , 2008).	12
Figura 6.	Invernadero tubular sin climatización donde se probó la automatización de la bomba solar. -----	35
Figura 7.	Tanque fertilizador con las soluciones madre S1,S2 y S3.-----	36
Figura 8.	Siembra en charolas de poliestireno de 200 cavidades.-----	38
Figura 9.	Trasplante de la plántula (Altura de 15 a 17 cm.). -----	39
Figura 10.	Sistema de riego con una hilera de cintilla. -----	40
Figura 11.	Sensor de humedad de fabricación propia.-----	40
Figura 12.	Tutorado con hilos de rafia. -----	41
Figura 13.	Deshoje de hojas senescentes. -----	41
Figura 14.	Cosecha del chile habanero. -----	43
Figura 15.	Esquema del muestreo de cosecha en el lote experimental.	43
Figura 16.	Lamina de riego aplicada por goteo automatizado usando energía solar en chile habanero de trasplante.-----	45
Figura 17.	Contenido de humedad en el suelo durante el ciclo vegetativo del cultivo en la profundidad de 0-30 cm.-----	46
Figura 18.	Contenido de humedad en el suelo durante el ciclo vegetativo del cultivo en la profundidad de 30-60 cm.-----	47

Figura 19.	Temperatura de exposición del chile habanero bajo invernadero sin climatización a partir del trasplante. Donde TL es temperatura máxima. -----	48
Figura 20.	Curva característica de bomba solar CENID RASPA con batería de 48 V en invernadero tubular comercial. -----	49
Figura 21	Radiación solar disponible durante el ciclo del cultivo. -----	50

RESUMEN

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación de la radiación solar en electricidad a través de paneles o celdas, conductores y controlador fotovoltaicos, las celdas solares, hechos principalmente de silicio y formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, provocan saltos electrónicos, generando electricidad. El aprovechamiento de esta energía renovable tiene grandes beneficios tanto para el planeta como para la sociedad. El sistema incluyó componentes para la captura, transformación y almacenamiento de la energía solar. La automatización del sistema de riego por goteo fue llevada a cabo en Chile habanero, para la aplicación de los riegos de reposición se adecuó un dispositivo con un circuito electrónico para controlar las aplicaciones automáticamente mediante voltajes del sensor de humedad en el suelo inclusive se tuvo que ampliar dichos voltajes para que se proporcionaran sobre-riegos por problema de salinidad provocada tanto por el suelo y fertirrigación que pudieran afectar o matar al cultivo. Se monitoreó la humedad en dos profundidades, 0 – 30, y 30 – 60 cm, en el primer estrato se mantuvieron los niveles por encima de capacidad de campo y en la otra profundidad por debajo de dicho nivel para evitar la percolación de agua y nutrientes.

En el estudio se estableció la automatización con energía solar en un invernadero sin clima controlado, en donde a pesar de que las altas temperaturas en la mitad del ciclo del cultivo, provocará abortos y daños a las plantas, fue posible controlar el calor con ventilaciones manuales. La producción fue de 7.5 t ha⁻¹ de Chile fresco, equivalente a 0.75 kg m⁻². Se utilizó 1.62 m de agua total obteniendo una eficiencia de uso del agua (EUA) de 0.469 kg m⁻³.

Palabras clave: Energía solar, riego por goteo, automatización, sensor de humedad, invernadero.

I. INTRODUCCIÓN

En México los métodos actuales de automatización del riego en el sector agrícola utilizan energía no renovable procedente de combustibles fósiles, lo cual incrementa considerablemente los costos de producción y condiciona en gran medida su uso. La utilización indiscriminada de combustibles fósiles, incrementa en forma sensible la emisión de contaminantes a la atmosfera en forma de óxido de nitrógeno, óxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de carbono y partículas suspendidas (Gutiérrez, 2001). La energía del sol es la fuente de energía más abundante del planeta y puede ser aprovechada en las fuentes de energía renovable, evitando la contaminación de la atmosfera, como el resto de las energías renovables, la tecnología fotovoltaica que consiste en convertir directamente la radiación solar en electricidad es una fuente de energía descentralizada, limpia e inagotable.

La tecnología propuesta ofrece la oportunidad de aprovechar la energía solar disponible para la producción de alimentos. Ofrece también la oportunidad de mejorar las condiciones de vida de la población en áreas marginadas carentes de infraestructura energética, Además, uno de los beneficios importantes de esta tecnología es la obtención de productos agrícolas sin costos de energía.

El bombeo de agua con celdas fotovoltaicas (FV) que utilizan la energía solar y su aplicación en riego presurizado como goteo y microaspersión no se ha generalizado en el país. El uso de celdas fotovoltaicas, se ha centrado más en, casas habitación, granjas, aparatos y herramientas para el hogar y talleres, motores eléctricos, bombas para extraer agua del subsuelo de bajas profundidades y almacenarla en un depósito elevado, con un uso generalizado en abrevaderos (SNL, 2001).

La automatización de un bombeo FV es difícil ante la falta de mecanismos de control para el encendido y apagado del riego. En el país se impulsa en los programas oficiales la tecnificación del riego hasta la automatización pero

accionados por controladores que accionan bombas electrificadas de energía no renovable. Actualmente, existe el tabú de que los bombeos FV y su redituabilidad están asociados con la creación de un depósito de almacenamiento y de ahí derivar el agua de riego. Una alternativa redituable de la producción de hortalizas son los invernaderos en el marco de la producción de dichos productos bajo agricultura protegida en donde se deduce que en dichas condiciones deben ser explorados. Sin embargo, los logros de investigación en invernadero con relación a la automatización del riego o fertirriego, cuenta con una gamma de controladores diseñados para bombeo de energía no renovable, en virtud de lo cual, en este trabajo se optó por implementar la automatización de una bomba bajo invernadero, con dispositivo o controlador propio y la aplicación del riego en un cultivo hortícola (chile habanero).

1.1 Objetivo general

Aprovechar la energía solar en la automatización de un sistema de riego bajo condiciones de invernadero.

1.2 Hipótesis

Es factible utilizar la energía solar en la automatización de un sistema de riego bajo condiciones de invernadero.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica. La energía del sol es un recurso de uso universal; por lo tanto, no se debe pagar por utilizar esta energía. Sin embargo, es importante recordar que para realizar la transformación de energía solar en energía eléctrica se necesita de un sistema fotovoltaico apropiado. El costo de utilizar la energía solar no es más que el costo de comprar, instalar y mantener adecuadamente el sistema fotovoltaico (BUN-CA, 2002).

2.2. Configuraciones típicas de bombeo FV

Los elementos de un sistema de bombeo FV se han de diseñar para operar conjuntamente, maximizando el rendimiento global del sistema. Existen distintas soluciones para bombear un determinado volumen de agua a una determinada altura en función de los rangos de potencia (producto altura por caudal) requeridos en una aplicación específica. A pesar de que se instalan bombas de superficie y flotantes, la configuración más habitual, es una motobomba sumergible instalada en un pozo de sondeo. La configuración de un sistema de bombeo FV está determinada por la definición del tipo de generador FV, tipo de bomba y motor; así como tipo de acondicionamiento de potencia (Figura 1) (Arija, 2010).

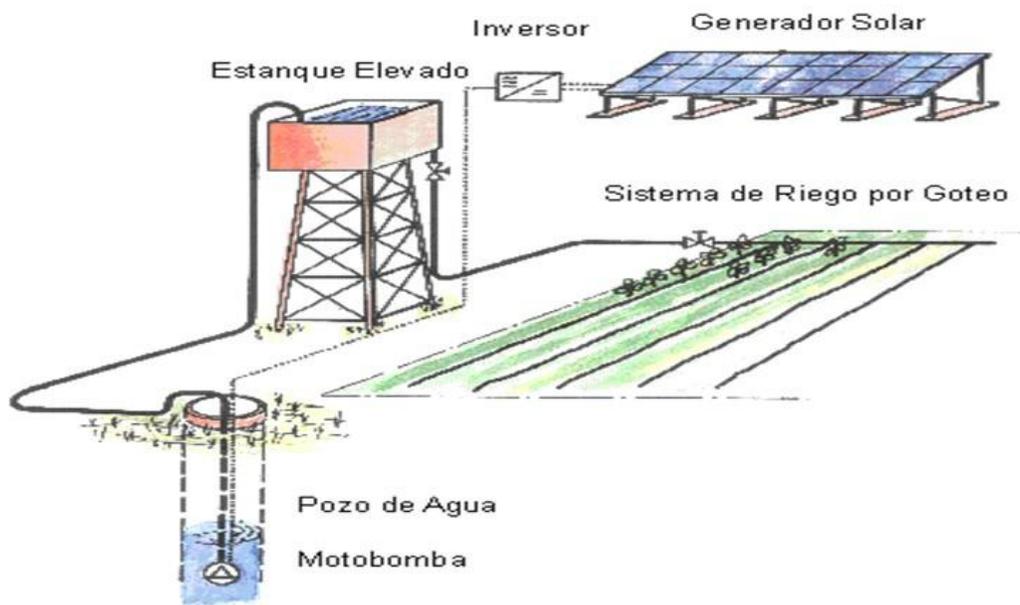


Figura 1. Elementos básicos de un sistema de bombeo FV.

2.2.1. Subsistema motor bomba

El subsistema motor bomba está formado por un motor que acciona una bomba de agua. En general, los motores pueden ser de corriente continua (DC) o corriente Alterna (AC). Las bombas pueden ser centrifugas o de desplazamiento positivo. Por su situación en el pozo los sistemas motor-bomba pueden ser sumergibles, flotantes o de superficie (http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45334/componente45332.pdf).

2.2.1.1. Motores

Un motor es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica. Dependiendo del tipo de alimentación eléctrica, los motores pueden clasificarse básicamente en: Motores eléctricos de corriente continua (DC) y

motores eléctricos de corriente Alterna (AC)
(http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45334/componente45332.pdf).

2.2.2. Celdas fotovoltaicas

Una celda fotovoltaica es el componente que capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, basado en el efecto fotovoltaico que produce una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre algunos materiales. Las celdas fotovoltaicas son hechas principalmente de un grupo de minerales semiconductores, de los cuales el silicio, es el más usado. El silicio se encuentra abundantemente en todo el mundo porque es un componente mineral de la arena. Sin embargo, tiene que ser de alta pureza para lograr el efecto fotovoltaico, lo cual encarece el proceso de la producción de las celdas fotovoltaicas. Una celda fotovoltaica tiene un tamaño de 10 por 10 centímetros y produce alrededor de un vatio a plena luz del día. Normalmente las celdas fotovoltaicas son color azul oscuro. La mayoría de los paneles fotovoltaicos consta de 36 celdas fotovoltaicas (BUN-CA, 2002).

2.3. Energía FV para bombeo e irrigación

Es probable que se difunda el riego en parcelas pequeñas y se utilice más en los próximos decenios, sobre todo en los países en desarrollo, debido a la presión demográfica cada vez mayor, sobre todo en Asia y África. Estudios han demostrado que los predios pequeños a menudo son más productivos, desde el punto de vista del rendimiento por hectárea, en comparación con las unidades extensas (Van *et al*, 2000).

Las nuevas técnicas de irrigación canalizan el agua por conductos cerrados para evitar la infiltración y contaminación, permiten controlar la presión del agua. Ésta puede llevarse directamente a la zona de las raíces mediante emisores de

goteo, microaspersores y cuerpos porosos situados en o por debajo de la superficie del suelo. Una aplicación diaria de poca cantidad de agua permite que el movimiento a la planta sea más constante, que se reduce el estrés por falta de agua, aumenta la cosecha y conservar el líquido. Además, se puede fertilizar los cultivos con estos sistemas, y aprovechar al máximo los insumos. La irrigación a baja presión, constante o diaria, se acopla a las características de los sistemas FV. Además, bien aplicado, el paso del agua a la planta puede hacerse en dosis casi exactas, por lo que ya no se depende tanto de las propiedades de almacenamiento del agua en el suelo. Como también puede hacerse producir nuevas superficies, antes consideradas inadecuadas para la irrigación, por ejemplo los suelos de arena gruesa o de grava, así como las pendientes empinadas. Estas técnicas de irrigación también tienen deficiencias, como el peligro de que se interrumpa el riego (causas eléctricas, fallo mecánico o escasez de agua), con graves consecuencias para los cultivos (Van *et al*, 2000).

2.3.1. Situación y economía

Las respuestas a la encuesta que fue realizada entre coordinadores de proyectos de sistemas FV, una revisión bibliográfica y de documentos de proyectos, y entrevistas a participantes decisivos en el ámbito de la energía FV, no dan suficientes detalles para hacer un análisis de la relación entre costos y beneficios. La bibliografía presenta cifras muy diferentes de la comparación de las tecnologías FV de bombeo con otras. Concuerdan en que los costos de inversión en equipo FV de bombeo son mucho más altos que los de otras opciones (diésel, eléctrico), pero por su duración, el bombeo FV puede resultar económicamente más competitivo. Otras ventajas es que este equipo necesita poco mantenimiento y es fiable (cuando los proyectos están bien elaborados y organizados). El bombeo FV es, adecuado para el suministro de agua potable en las aldeas lejanas que no cuentan con electricidad, y a menudo es la solución económica, por la duración del equipo. Además, para dar agua al ganado, las bombas FV suelen ser también la solución más económica y utilizada. La desventaja de los sistemas FV

en función de la irrigación temporal, podría eliminarse utilizándolos para otras cosas en el periodo no productivo del año (es decir, cuando no se requiere el riego) (Van *et al*, 2000).

La Van *et al*, (2000), menciona que Hahn (1998), resume las condiciones específicas en que la utilización de bombas FV para riego, en pequeña escala, pueden ofrecer ventajas económicas respecto a otras tecnologías: en climas áridos y semiáridos; donde no existe acceso a la red eléctrica ordinaria; donde hay problemas de mantenimiento para las bombas de diésel y abasto de combustibles; baja altura de elevación total (un máximo de aproximadamente 30 metros); predios reducidos (hectáreas); cultivo de productos de alta calidad para mercados seguros; utilización de métodos de riego de conservación de agua y ahorro de energía (riego por goteo); un alto grado de utilización del sistema mediante la rotación de cultivos. Los sistemas FV de bombeo para riego tienen un mercado limitado a las parcelas relativamente pequeñas, pero los pequeños campesinos suelen tener poco capital, por lo cual se necesitan mecanismos adecuados de apoyo económico. En la India, el Gobierno utilizó una combinación de subsidios, crédito y apoyo técnico para fomentar el bombeo FV en irrigación. Una importante conclusión de este programa es que una institución debe proporcionar la ayuda técnica y agronómica para facilitar la introducción de la irrigación por goteo con sistemas FV, y promover mejores métodos de riego.

2.4. Automatización de sistemas de riego localizado

La automatización de sistemas de riego a presión localizados ha evolucionado en el riego de jardines públicos y privados, campos deportivos, y poco a poco se está implementando en la agricultura. La automatización del riego a presión es un aspecto innovador de los países industrializados que ha evolucionado en los sistemas residencial, comercial, municipal y campos deportivos. En la mayoría de las universidades de EUA se utiliza en la irrigación de lotes experimentales controlados desde una unidad central, y se implementan en

pequeña escala en lotes productivos agrícolas básicamente hortalizas y frutales. En Culiacán, México, en muchos campos agrícolas de producción de hortalizas se tiene también considerable infraestructura sobre automatización de sistemas de riego por goteo. Un sistema de riego localizado puede ser automatizado de dos maneras: en forma hidráulica (en extinción y esporádica) y/o electrónica. Esto es importante para seleccionar los materiales que requiera menor inversión y mantenimiento (Román *et al.*, 2008).

2.4.1. Tipos de automatización

Existen dos tipos de automatización: la hidráulica y electrónica (Román *et al.*, 2008). La primera consiste en aprovechar la presión hidráulica del sistema de riego, y mediante tuberías piloto abrir y/o cerrar válvulas o accionar un dispositivo de encendido y apagado del equipo de bombeo. Conforme al avance tecnológico de los sensores, que se fundamentan en circuitos electrónicos accionados por electricidad (ejemplo del reloj-despertador que activa un radio), la automatización eléctrica-electrónica surge basada en sistemas de cables eléctricos sobre el sistema de tuberías de riego para controlar válvulas solenoides electrónicas y equipos de bombeo.

2.4.1.1. Automatización eléctrica-electrónica

La automatización eléctrica-electrónica es la más generalizada debido a su flexibilidad para integrar los cada vez más usados sistemas expertos en riego. Estos consisten en automatizar las acciones del cuándo y cuánto regar los cultivos con la mínima intervención del hombre en la toma de decisiones. Acciones que son tomadas por la computadora que esta sincronizada con la programación del cuándo y cuánto regar con base en las señales emanadas de los sensores que detectan el abatimiento de humedad en el suelo o bien, por medio de una estación climatológica automatizada que proporcione información continua a la

computadora para estimar las necesidades hídricas del cultivo y tomar decisiones para accionar el riego al estimar que el consumo programado sea el requerido, con lo anterior se repone la lámina consumida y se detiene el riego cuando esta ha sido satisfecha. Un caso sencillo de este tipo de automatización se muestra en las Figuras 2 y 3, en donde, la red con líneas suspensivas sobre el sistema de riego de la Figura 3, representa la aplicación de dicho sistema de automatización (Román *et al.*, 2008).

Los controladores de la automatización eléctrica-electrónica se clasifican por la forma de programar el riego en las siguientes tres tipos (Román *et al.*, 2008): Controles accionados por mecanismos de reloj, Controles accionados por sensores, Controles accionados por paquetes computacionales.

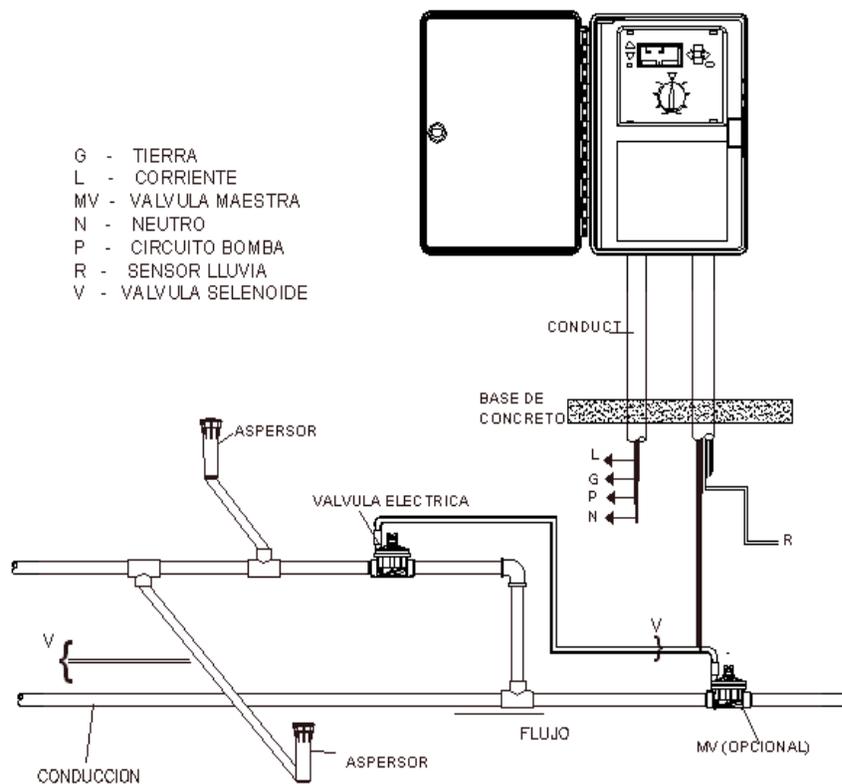


Figura 2. Instalación típica de tubería y cable a un controlador eléctrico.

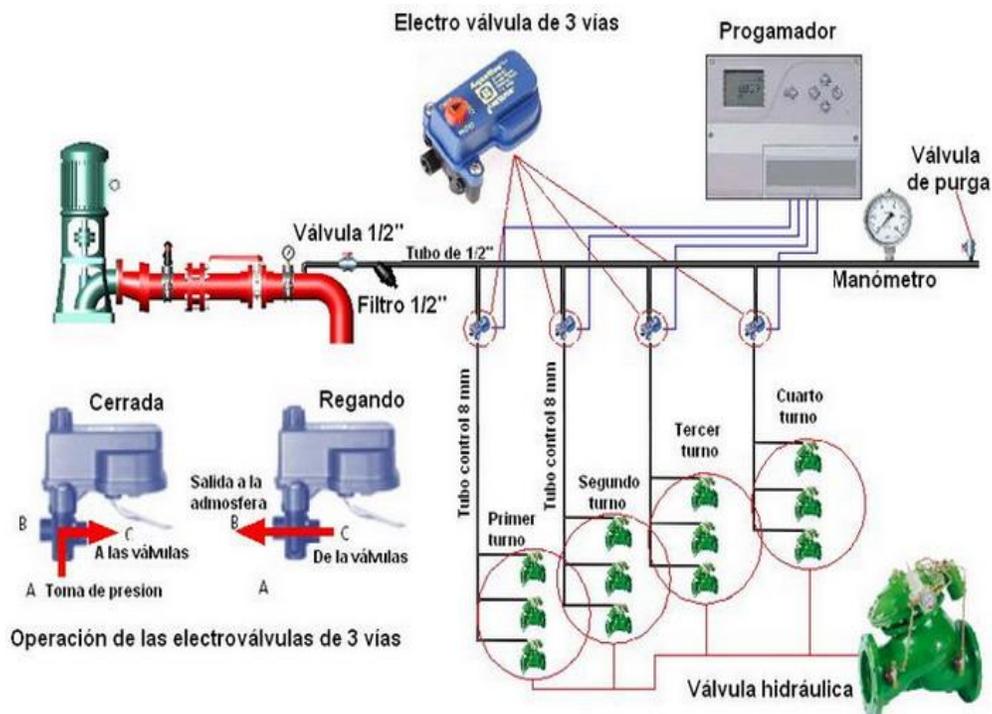


Figura 3. Representación esquemática de un sistema de riego automatizado.

2.4.1.2. Controles accionados por mecanismos de reloj

Existe gran variedad de controladores en el mercado y se requiere de experiencia para seleccionar el más adecuado de acuerdo a su calidad y bajo costo. En cuanto a su evolución se han generado controles de botones y actualmente de pulsación digital (Figuras 4 y 5) (Román *et al.*, 2008).



Figura 4. Controlador eléctrico-electrónico de botones (Román *et al.*, 2008).



Figura 5. Controlador eléctrico-electrónico digital (Román *et al.*, 2008).

Todos los controladores tienen un número de estaciones que activan, siendo cada una de ellas una válvula o dispositivo de encendido y apagado del equipo de bombeo, también deben tener terminales para un sensor de lluvia y humedad del suelo. Algunos fabricantes incluyen estos como interruptor lógico del controlador y no como estación. El rango de estaciones de los controladores de botones o digitales va de cuatro a 24 estaciones; si se tiene un sistema que requiera más de 24 estaciones entonces requerirá otro equipamiento conocido como “satélite de campo” (Román *et al.*, 2008).

2.4.1.3. Controladores accionados por medio de sensores.

Esta alternativa se restringe a controladores de 24 estaciones; los sensores que controlan el equipo de bombeo son: tensiómetros en base en el contenido de humedad, sensor de tanque medidor de evaporación con electronivel, sensor de lluvia este último es inherente al sistema de riego automatizado, ya que detendrá el riego cuando la lluvia ocurra. Su principio se basa en un orificio con fondo que capta la precipitación en la cara superior de un cilindro, que al acumular una lámina de agua de lluvia manda la señal eléctrica para apagar la bomba; posteriormente y coordinado con el sensor de humedad, éste accionará la bomba cuando la humedad del suelo se haya abatido a un déficit permisible. Finalmente, la operación de un controlador por medio de una señal remota (similar al control de una televisión) en la que una persona tiene que accionar el controlador para iniciar o detener el riego (poco usual)

2.5. Origen del chile habanero

El chile tipo habanero comprende variedades pertenecientes a la especie *Capsicum chinense*. En México se siembra particularmente en Campeche y Yucatán. Se supone que es originario de América del sur, de donde, de acuerdo

con su nombre, pudo ser introducido en México a través de Cuba (Nuez et al., 1995).

El género *Capsicum*, al cual pertenecen todos los chiles cultivados, es originario de los trópicos de América. Las cinco especies domesticadas y sus parientes silvestres estuvieron confinadas en el continente Americano en la época precolombina. Los primeros exploradores españoles y portugueses, encontraron frutos tan pungentes que los introdujeron rápidamente a Europa y Asia. Se han encontrado remanente arqueológicos que han permitido determinar que las especies de este género se domesticaron en diferentes partes de América principalmente en México (7000, AC). Se indica como centro de origen de *Capsicum frutescens* L. y *Capsicum chinense* Jacq, a Bolivia, Perú, sureste de Brasil, los andes y Colombia, aunque unos tipos también se pueden encontrar en África y sureste de Asia, ya que fueron introducidos en la época colonial (Tun, 2001). Diversos estudios han definido como centro de origen del género *Capsicum* a una gran área ubicada entre el sur de Brasil y este de Bolivia, Oeste de Paraguay y Norte de Argentina. En esta región se observa la mayor distribución de especias silvestres en el mundo (Ruiz *et al.*, 2011).

2.6. Clasificación taxonómica

La clasificación del cultivo de Chile puede establecerse fácilmente hasta el nivel de género, pero debido a su gran diversidad, la diferenciación a nivel de especie y variedad es complicada (Tun, 2001). La clasificación taxonómica para el cultivo de Chile habanero es la siguiente:

Clase Angiosperma

Subclase Dicotyledonea

Súperorden sympetala

Orden Tubiflorales

Familia Solanácea

Genero Capsicum

Especie C. chinense Jacq.

2.7. Descripción botánica

El chile habanero es una que puede alcanzar una altura de 1.5 m en suelo mecanizable y hasta 16 meses de vida. Es de hábito de crecimiento determinado, se comporta como planta semiperene, su ramificación es erecta, con tres o cinco ramas primarias y de nueve a trece secundarias; la planta presenta una altura no menor de 1.3 m y hojas grandes, verde oscuras de 10 y 15 cm de largo y ancho, respectivamente. Raíz pivotante y sistema radicular que varía de 1 a 2.3 m de acuerdo al tipo de suelo, sanidad y vigor de la planta. Los frutos son bayas con trece o cuatro lóculos, la semilla se aloja en las placentas. Presenta en promedio seis frutos por axila; estos son de un tamaño entre 2 y 6 cm. el color es verde cuando son tiernos, y anaranjados, amarillos o rojos cuando son maduros; son además muy picantes y aromáticos (Navarrete et al., 2002).

El chile habanero ya maduro, de unos 4 cm de largo por 3 cm de ancho, tiene un color amarillo naranja traslucido. Es el chile más picante, junto con el manzano y de árbol. Tiene sabor bien definido, perfumado, persistente, por lo que muchas veces se usan en salsa para dar sabor, no picor, deshebrándolo por el extremo puntiagudo para luego sumergirlo, varias veces, en una salsa para darle un ligero sabor y picor en lo que se llama “dar un paseo por la salsa (Lesur, 2006).

2.8. Variedades

Existen diversos tipos de chile habanero, los cuales se diferencian por el color del fruto maduro. Para el consumo en fresco local se recomienda el de color naranja y para la industria local se utiliza el amarillo y naranja. Sin embargo, en el

extranjero se prefiere el fruto de color rojo su mayor tamaño y pungencia. El de color café, conocido como “cubano” tiene buen tamaño y mayor pungencia, pero no tiene demanda en el mercado local y nacional. El material que generalmente usan los productores de Yucatán es la variedad criolla de fruto color naranja, cuya semilla la obtienen de sus propios cultivares. En el caso de las variedades de fruto rojo, aunque no es común en Yucatán, se puede obtener semilla de tipo criollo proveniente de Belice. En el caso de frutos de color rojo, se tiene la variedad Caribbean Red (Tun, 2001).

2.8.1. Variedad Jaguar

Variedad que tiene fruto color verde esmeralda brillante en estado sazón, que cambian a anaranjado intenso en madurez total. Su longitud es de 4 a 5.3 cm, con un diámetro de 2.8 cm. Presenta alto peso de fruto (7.7 a 10 gramos) y buena firmeza (30 a 50 Newton/cm²), características importantes para su comercialización (Santoyo y Martínez, 2012).

2.8.2. El Híbrido Chichén Itzá

Híbrido muy precoz (15 a 25 días antes que una variedad, dependiendo de la temperatura del lugar de siembra), que madura de verde a anaranjado. Presenta frutos firmes, tamaño entre mediano y largo, con forma típica; es una planta fuerte, que produce excelente cantidad de frutos. Es resistente a Tobamo P05 (Santoyo y Martínez, 2012).

2.8.3. El Híbrido Kukulcán

Ofrece resistencia a Tobamo P0. Sus frutos son extremadamente pungentes y maduran de verde a anaranjado. Planta fuerte con buena cantidad de

fruto. Es ideal para la producción de salsa. Presenta excelente maduración (18-28 días antes que una variedad, dependiendo de la temperatura) (Santoyo y Martínez, 2012).

2.9. Propiedades del chile habanero

Las propiedades del chile habanero son las siguientes: (Santoyo y Martínez (2012). Es considerado el chile más picante (de 150 mil a 350 milscoville). Es una excelente fuente de vitamina A, contiene el doble de Vitamina C que los cítricos y fortalece el sistema inmunológico, contiene una alta concentración de betacaroteno y flavonoides antioxidantes que desaceleran el envejecimiento. La capsicina combate la migraña, dolores de cabeza, alivia la artritis. La capsicina contenida en chile habanero posee fuertes propiedades antibacteriales, que permiten prevenir y atacar las infecciones crónicas de los paranasales (sinusitis). Es un potente antiinflamatorio que alivia dolores musculares y reumáticos. Su consumo regular disminuye el colesterol en la sangre. Puede aliviar padecimientos intestinales crónicos y ayudar en el proceso de digestión. La capsicina contenida en el chile habanero puede prevenir algunos tipos de cáncer, como del intestino, colon y estómago. La capsicina es un agente termogénico, que ayuda a elevar la actividad metabólica, ayudando al cuerpo a quemar grasas y calorías. El chile habanero estimula la producción de endorfinas, por lo que su consumo genera un estado placentero. La capsicina es un agente termogénico, que ayuda a elevar la actividad metabólica, ayudando al cuerpo a quemar grasas y calorías.

2.10. Situación de mercado de chile habanero

En México, los principales estados productores de chile habanero son Yucatán, Tabasco, Campeche y Quintana Roo, con 500, 260, 90 y 40 hectáreas, respectivamente, en el 2010 la Superficie disminuyó a 762 hectáreas, con un rendimiento promedio de 10.8 toneladas por hectárea (1.08 kg/m²) en los cuatro

estados. Los precios de habanero en el mercado nacional son muy diversos, dependiendo del estado en que se comercialicen. En Durango y Nayarit los precios de venta rebasan los 90 pesos. En Estados Unidos su precio también es muy variable: En abril de 2010 se vendió hasta en 14 dólares (182 pesos) por kilogramo de fruta fresca (Santoyo y Martínez, 2012).

2.11. Potencial de producción de habanero en invernadero

El chile Habanero (*Capsicum chinense*) es uno de los chiles más producidos por su alta rentabilidad, competencia y demanda en el mercado. En México, son varios los estados que lo producen: Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Jalisco, Veracruz, Baja California Sur, San Luis Potosí, Chiapas, Sonora, Michoacán, Nayarit, Sinaloa, Chihuahua y Colima. Yucatán, ocupa el primer lugar como productor nacional de chile habanero(http://www.intagri.com.mx/La_produccion_del_chile_habanero_en_invernadero.html)

La cantidad de producción en invernadero de este cultivo en condiciones óptimas es de 90 a 100 toneladas al año por hectárea (9 a 10 kg/m²) y el chile se vende entre 18 y 20 pesos por kilo por lo que lo hace un cultivo muy rentable, su periodo de cosecha es de aproximadamente 85 días a cielo abierto y 130 en invernadero. La superficie cosechada en 2009 fue de 423 hectáreas en total, con 5421 toneladas de producción cuyo valor fue superior a los 90 millones de pesos. El precio al productor en ese mismo año fue en promedio, de 16,870 pesos por tonelada, aunque en Quintana Roo alcanzo el precio más alto pagado al productor: 22,834 pesos por tonelada. Este cultivo se vislumbra como una oportunidad de negocio redituable para los agricultores, su demanda está en aumento y su precio es atractivo en el mercado (http://www.intagri.com.mx/La_produccion_del_chile_habanero_en_invernadero.html).

En un invernadero de clima controlado localizado en Gómez Palacio, Dgo., se evaluó la respuesta del chile habanero a tres densidades de plantación y tres soluciones nutrimentales. El rendimiento de fruto respondió de manera positiva al incremento de la concentración de la solución nutrimental del nivel bajo (S1) al intermedio (S2) pero no al alto (S3). Las S2 y S3 produjeron un rendimiento de fruto estadísticamente similar ($P = 0.05$), con un promedio entre ellas de 729 g m^{-2} el cual fue superior en un 37 por ciento a S1. La lámina de agua total aplicada durante el experimento fue de 446 mm (Villa, 2010).

2.11.1. Elección del tipo de invernadero

Esta especie de chile es la que requiere mayor calor en cuanto al clima, por lo que hay que elegir una estructura adecuada (malla sombra, israeli, multitunel, etc), de acuerdo al clima de la zona. Otros puntos cruciales en la producción del chile habanero en condiciones protegidas son el manejo agronómico y la nutrición mineral del cultivo (http://www.intagri.com.mx/La_produccion_del_chile_habanero_en_invernadero.html).

2.12. Potencial de producción de chile habanero en casa sombra o malla sombra

En México existe una gran diversidad de chile, dentro de los cuales se encuentra el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), sembrado en diferentes estados, principalmente en Yucatán, Tabasco, Campeche y Quintana Roo, donde se obtienen producciones que oscilan entre 10 y 30 toneladas por hectárea ($1 \text{ a } 3 \text{ kg/m}^2$), de acuerdo al nivel de tecnificación empleada en el cultivo. La importancia de esta variedad de chile radica, principalmente, en la gran demanda que tiene para exportación. En 2007 se obtuvo un monto de 90 millones de pesos en este rubro, sólo en la península de Yucatán; es fundamental mencionar que el precio

que alcanza puede ser muy elevado, ya que puede llegar a valer hasta 100 pesos por kilogramo (kg), y durante 2008 el precio promedio fue de 37.48 pesos por kilogramo. En el sur de Sinaloa, se cuenta con el paquete tecnológico de chile habanero en casa sombra abarcando desde la siembra en charolas hasta la obtención de rendimiento en campo. Se determinó el ciclo de cultivo en 128 días, contando desde el momento del trasplante hasta la primera cosecha. El rendimiento obtenido de chile habanero naranja fue de 18.7 t/ha (1.87 kg/m²) de la variedad Kukulcán, 17 t/ha (1.7 kg/m²) de la variedad Chichén Itzá, y 16.3 t/ha (1.63 kg/m²) de la variedad Jaguar, con riegos que se realizaron cada cinco días durante los primeros 20 días, durante este periodo el tiempo de riego fue de 60 minutos, equivalente a 23 mil 750 litros por hectárea. A partir de 30 días después del trasplante, el tiempo de riego fue de 90 minutos cada tercer día (Santoyo y Martínez, 2012).

Sinaloa es uno de los principales estados productores de chile picoso, sin embargo, los productores enfrentan problemas fitosanitarios en sus diferentes especies y variedades en campo abierto, a lo que se suman los bajos precios de venta durante la comercialización. Debido a esto, es necesario encontrar nuevas alternativas de producción, como el sistema de cultivos protegidos en casa sombra, que se basa en proporcionar a las plantas un ambiente con características superiores a las de campo abierto. En climas tropicales y subtropicales se ha encontrado gran aceptación, ya que brindan protección contra la alta intensidad de luz solar, lluvias torrenciales y vientos intensos que provocan daños en el cultivo; además, que este tipo de estructuras permiten excluir insectos y otro tipo de plagas del área de crecimiento, lo que permite una menor utilización de productos químicos (Santoyo, 2010).

2.13. Producción de chile habanero en condiciones normales

2.13.1. Preparación del terreno

El acondicionamiento del terreno para la siembra del cultivo de chile habanero, depende de las condiciones en que se encuentre el suelo, en especial la textura, estructura, contenido de materia orgánica, disponibilidad de nutrientes, pendiente y profundidad del manto freático, ya que son los principales elementos que determinan las labores mínimas que se requieren, para la preparación adecuada del suelo, así como el aprovechamiento óptimo de este recurso (Prado, 2006). Se recomienda sembrar en terrenos no inundables. En suelos pedregoso, cuando la vegetación sea de monte alto, la preparación se hace de acuerdo al sistema roza tumba y quema (RTQ), pero cuando la vegetación sea de arbustos anuales y perennes bajos, se deben cortar y acomodarlos en montones, o en franjas, o incluso, distribuirlos en el terreno, y si es muy voluminosa quemarlos. En caso de decidir quemar, la quema sólo se debe realizar en el primer ciclo. En los siguientes ciclos, si se utiliza el mismo terreno, sólo se chapea y se aplica el herbicida desecante paraquat (Transquat, Gramoxone) en dosis de 1.5 a 2 L ha⁻¹, con el fin de que los residuos de maleza y cultivos sirvan como fuente de materia orgánica y de protección y mejoramiento del suelo. La preparación del terreno en terrenos arables consiste en un paso de arado de disco, dos pasos de rastra: uno perpendicular al otro, nivelación del terreno y trazado de líneas de riego por goteo cada 1.5 m, con goteros cada 30 cm (Navarrete *et al.*, 2002).

2.13.2. Densidades de población y distanciamiento

La cantidad de plantas por hectárea, depende principalmente del potencial productivo del suelo, la estructura aérea de la planta y amplitud de la zona de raíces. Así tenemos que para cada una de las regiones del estado, existe diferente densidad de población (Prado, 2006). La densidad de población con las que se han obtenido los mejores rendimientos, quedan comprendidos entre 20,000 y 22,000 plantas ha⁻¹ estas se logran instalando líneas de riego por goteo cada 1.5

m con goteros cada 30 cm colocando una planta en cada gotero (Navarrete *et al.*, 2002).

2.13.3. Trasplante

El momento más oportuno para trasplantar las plantas de chile habanero, es cuando alcanzan una altura de 15 a 18 cm que generalmente ocurre entre los 45 a los 50 días después de la siembra de la semilla, variando conforme a la presencia de días nublados y soleados, durante su estancia en almácigo o vivero (Prado, 2006). Se sugiere trasplantar la plántula cuando esta tiene entre 10 y 15 cm de altura, colocando una en cada gotero o espagueti. Esta actividad debe hacerse después de asegurarse que el suelo está perfectamente húmedo (a capacidad de campo), la planta se coloca en terreno preparado (era o poceta) en el cual previamente se aplicó un nematicida, después se cubre con el suelo hasta a la base del tallo y apisonando con fuerza alrededor de este para que la raíz quede en contacto con las partículas de suelo y se facilite la absorción de agua y nutrientes (Navarrete *et al.*, 2002).

2.13.4. Labores culturales

2.13.4.1. Poda

Esta práctica se realiza cuando la planta empieza a gajear o producir brotes que se convierten en nuevos tallos; esto sucede a los 40 días de establecida en el campo, el número de tallos varía de 4 a 7 destacando el tallo principal, que se identifica como el de mayor grosor. Para obtener una producción uniforme y de mayor calidad se recomienda eliminar los brotes o tallos nuevos, utilizando tijeras o navajas bien desinfectadas. Terminada la poda se recomienda hacer una aplicación de captan en una dosis de 2 gramos por litro de agua, para evitar

posibles infecciones de hongos, por las heridas causadas durante la poda (Prado, 2006).

2.13.4.2. Aporque

Esta práctica en Chile habanero funciona de manera significativa, cuando la planta tiene 30 días de establecida en campo. Consiste en eliminar la maleza cercana a la planta, en esta misma labor se arrima tierra al tronco del tallo y se remueve el suelo en la zona de las futuras raíces. Este trabajo generalmente se realiza con personal bien entrenado en el manejo del azadón (Prado, 2006).

2.13.4.3. Fertilización

La cantidad de fertilizante que se tiene que incorporar al cultivo, depende de la disponibilidad de nutrientes que se encuentren en el suelo y de la curva de nutrición de la planta. El cultivo, es exigente en potasio, nitrógeno, calcio, magnesio y fósforo. El requerimiento nutritivo es de 250 kilogramos de Nitrógeno, 100 kilogramos de Fósforo, 300 kilogramos de Potasio, 200 kilogramos de Calcio y 100 kilogramos de Magnesio, en todo el ciclo de producción (Prado, 2006).

2.13.4.3.1. Programa de fertilización

Considerando el tiempo de liberación de los nutrientes de los fertilizantes incorporados al suelo y necesidades de nutrientes de acuerdo a la fenología de la planta, los fertilizantes se deben de aplicar de forma fraccionada en los días que a continuación se señalan (Prado, 2006):

Primera aplicación

Se realiza a los 10 días después del trasplante, de aplicando todo el Fósforo, 30 por ciento de Nitrógeno y 40 por ciento de Potasio, para estimular su enraizamiento y adaptación.

Segunda aplicación

Se realiza a los 40 días después del trasplante, aplicar 30 por ciento de Nitrógeno y 40 por ciento de Potasio, para promover un buen desarrollo de la planta.

Tercera aplicación

Se realiza a los 70 días después del trasplante, aplicar 20 por ciento de Potasio, el resto de nitrógeno y 100 por ciento de Calcio y Magnesio, para producir un fruto de mayor calidad y vida en anaquel.

El proporcionar a la planta los nutrientes necesarios es fundamental para lograr un buen rendimiento y buena calidad del fruto. Una nutrición adecuada no solo consiste en aplicar fertilizantes, sino aplicar las fuentes de nutrientes adecuadas, en forma dosificada y de acuerdo a las necesidades que va teniendo el cultivo durante su desarrollo. Los avances en los trabajos de nutrición en este cultivo indican que el chile requiere de 125 N, 100 P y 150 K kg ha⁻¹ de fruto, esto para el chile sembrado en suelos pedregosos (leptosoles) como en suelos rojos (luvisoles). En suelo pedregoso se ha observado que cuando únicamente se aplica el fertilizante químico, no hay una respuesta adecuada del cultivo; esto es debido a que los suelos son muy delgados y permeables, lo que favorece que los nutrimentos se pierdan por lixiviación; sin embargo, cuando el fertilizante químico se acompaña con estiércol la respuesta es más efectiva. En estos suelos se

recomienda fertilizar con el tratamiento 125 N, 100 P y 150 K acompañado de 10 t ha⁻¹ de cerdaza u otro estiércol (Navarrete *et al.*, 2002).

Se recomienda utilizar fertilizantes de alta solubilidad y que no tengan precipitados durante la fertirrigación para evitar taponamientos en los goteros, tales como (Villa *et al.*, 2010): Para nitrógeno; Multi NPK, multi Ca y Magnisal-Mg. Para fósforo; Multi MKP, Multi NKP, ácido fosfórico este usado básicamente como regulador del PH de la solución madre entre valores de 6-6.5. Para potasio; multi MKP, multi NKP. Elementos menores; Ca (multi Ca), Mg (Magnisal), elementos quelatados como Fe, Co, Mn, B, Zn Mo (librel mix-al).

2.13.4.3.2. Aplicación de fertilizantes foliares

Según Prado (2006), en lo que se refiere a la aplicación de foliares, el chile habanero de acuerdo a la curva de nutrición, es exigente en los siguientes nutrimentos: En la etapa de desarrollo del cultivo hasta antes de la floración es exigente inicialmente en fósforo para la formación de raíces y, posteriormente, nitrógeno para un mayor desarrollo de la planta. En la etapa de floración y fructificación, exige fuertes cantidades de fósforo, para la fructificación y amarre del fruto. En el intervalo de la floración y engorde de fruto, se requiere de calcio para favorecer una mejor asimilación de nutrientes. En la etapa de engorde de frutos, se requiere de potasio, calcio y magnesio, para afinar la calidad y definir el color, sabor y textura del fruto, elementos importantes que determinan la vida en anaquel.

Además, menciona que un complemento importante en la nutrición del cultivo son las aplicaciones foliares, ya que actúan como correctivos de forma inmediata. En el caso del chile habanero, se recomiendan 6 aplicaciones de foliares:

1. 15 días después del trasplante, aplicar Bayfolán en una dosis de 20 centímetros cúbicos por bomba de 15 litros de agua.
2. 30 días después del trasplante, aplicar de Nutrí-Ca en una dosis de 20 centímetros cúbicos por bomba de 15 litros de agua.
3. 45 días después del trasplante, aplicar de una mezcla compuesta por Nutrí-Ca más Fosfacel, en una dosis de 30 centímetros cúbicos y 30 gramos respectivamente por bomba de 15 litros de agua.
4. 60 días después del trasplante, aplicar de una mezcla compuesta de Fosfacel más Agro-K en una dosis de 40 gramos de cada producto por bomba de 15 litros de agua.
5. 80 días después del trasplante, aplicar de una mezcla compuesta de Fosfacel más Agro-K en una dosis de 40 gramos de cada producto por bomba de 15 litros de agua.
6. 100 días después del trasplante, aplicar 50 gramos de Agro-K por bomba de 15 litros de agua.

2.13.3.4. Control de maleza

Práctica muy importante hacerla a tiempo porque las hortalizas son plantas muy susceptibles a la competencia por malas hierbas. Las malas hierbas compiten con el cultivo básicamente por luz, agua, nutrientes y dióxido de carbono. Existen tres formas de controlar la maleza en Chile: el control manual, el químico y el combinado (Navarrete *et al.*, 2002). En el control de la maleza, se recomienda que sea en forma manual, utilizando azadón cuando se trate de limpiar las plantas; y machete corto cuando se limpien las entre calles; no se recomienda el uso de herbicidas, debido a que la planta de Chile habanero es bastante sensible y se

puede provocar atraso en su desarrollo e inclusive la muerte de la planta. En casos extremos se puede utilizar herbicida, para ello se recomienda el uso de una campana o en su caso cubrir la planta con vasos, para evitar su contacto con el producto. Si se pretende un control más tecnificado de la maleza, el uso del acolchado plástico de preferencia negro, permite un control eficiente de la maleza, ya que inhibe su desarrollo, debido al calor y falta de luz. El costo por hectárea de acolchado plástico es de \$ 8,000 pesos (precio actual) (Prado, 2006).

2.13.5. Riego

El cultivo de chile habanero es bastante sensible a exceso de agua, por ello se debe cuidar en todo momento mantener la humedad del suelo a capacidad de campo, se recomienda riego ligero y frecuente, de preferencia con el sistema de riego por goteo, que aparte de ser localizado, el área de mojado es reducido y permite un mejor control de maleza (Prado, 2006).

Los sistemas de riego más utilizados en la península son por manguera, goteo, espagueti y por gravedad. Los tres primeros muy utilizados en suelos pedregosos y el riego por gravedad utilizado en suelos mecanizables. Cuando se utiliza riego por manguera, se sugiere regar cada 5 días, aplicando aproximadamente 10 litros por planta; en caso de riego por espagueti se sugiere dos horas diarias y el riego por goteo, es continuo de 2 a 4 horas diarias. Para mantener la humedad adecuada en el suelo; se recomienda mantener los tensiómetros en un rango de 0 a 12 centibares. Se recomienda regar cuando el tensiómetro marque máximo a 20 centibares, cuando esto ocurre, hay que regar hasta llevar el tensiómetro a 0 centibares, esto se logra regando aproximadamente 3 horas diariamente con goteros que tengan un gasto de 4 L h^{-1} . En suelo rojo mecanizable, se sugiere regar cada 5 días cuando el riego es por gravedad y 2 horas diarias, cuando el riego es por goteo, manejando en los tensiómetros un rango entre 0 y 20 centibares (Navarrete *et al.*, 2002).

2.13.6. Cosecha

La cosecha se hace manualmente cortando con todo y pedúnculo los frutos de consistencia dura y color verde brillante. La cosecha varía de una por semana cuando inicia la producción hasta dos; no debe permitirse que el fruto madure fisiológicamente en la planta porque esto la debilita y envejece acortando su ciclo productivo. El número de cortes que se da a la planta de chile, varía de acuerdo al manejo que se dé al cultivo, ya que es una planta semiperenne; por lo tanto, si su sistema radicular está sano puede incluso podarse las ramas viejas para promover brotes nuevos, aunque el fruto va reduciendo gradualmente su tamaño (Navarrete *et al.*, 2002).

La cosecha de los primeros frutos de chile habanero, ocurre entre los 80 y 90 días, después del trasplante, dependiendo de las condiciones productivas y el manejo técnico. El mejor indicio para determinar el momento de la cosecha, es cuando el fruto presenta una tonalidad verde, de color firme y brillante, con una consistencia gruesa, dura y resistente. La mejor producción se concentra en los primeros 4 ó 5 cortes, cosechando frutos uniformes, de excelente calidad y de mayor tamaño; conforme la cosecha avanza, el fruto pierde estas cualidades revirtiendo la calidad, el tamaño y el rendimiento por corte. El rendimiento de chile habanero varía de 8 a 14 toneladas por hectárea, bajo condiciones de temporal. En el caso de utilizar riego por goteo, el rendimiento puede alcanzar de 20 a 25 toneladas por hectárea (Prado, 2006).

2.13.7. Principales enfermedades

En el estado de Tabasco, las principales enfermedades de importancia económica son: "Damping off" o secadera de la plántula, marchitez de la planta, mancha grasienta y mancha bacteriana (Prado, 2006). Su daño, la etapa donde se presenta y su control, se encuentran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Principales enfermedades en el cultivo de chile habanero (Prado, 2006).

Enfermedad	Daño	Etapas Productiva	Producto comercial	Dosis/Ha
Damping off o secadera de la plantula	Ataca el cuello de la planta, se cae y se seca, su presencia es repentina	Almacigo	Captán-50	1 Kilogramo
Marchitez	Provoca marchitamiento y muerte de la planta, los frutos se quedan pequeños, pero no caen.	Desarrollo y fructificación	Prozicar	400 a 600 gramos
Mancha grasienta	Provoca la muerte de ramas en horquetas, presenta manchas de color purpura con apariencia aceitosa	Fructificación y engorde de fruto	Mezcla de Ridomil bravo más Cupravit mix	500 gramos de Ridomil más 1.5 kg de Cupravit
Mancha bacteriana	Atacan follaje y frutos causando lesiones acuosas	Fructificación y engorde de fruto	Cupravit mix	1.5 kilogramos

2.13.8. Principales plagas

Las principales plagas de importancia económica en el cultivo de chile habanero, sus daños y su control en el estado de Tabasco son las que se presentan en el Cuadro 2 (Prado, 2006).

Cuadro 2. Principales plagas en el cultivo de chile habanero (Prado, 2006).

Plagas	Daños	Etapas productivas	Producto recomendado	Dosis/ha
Nematodos	Ataca raíces, en ataque severo provoca enanismo en la planta	Desarrollo y Fructificación	Furadan-480	1 litro
Gallina Ciega	Se come las raíces, ataca en forma de manchones, es común en suelos frescos y con alto contenido de materia orgánica	Trasplante y desarrollo	Furadan-480	1 litro
Grillo y Gusano trozador	Atacan a la planta al ras del suelo	Trasplante y desarrollo	Furadan-480	1 litro
Diabrotica o barrigon	Perfora las hojas jóvenes y en ocasiones el cogollo	Trasplante y desarrollo	Malathion	1 litro
Gusano minador	Ataca la hoja formando galerías, secando la hoja	Desarrollo, fructificación	Trigard	1 50 gramos
Acaro blanco	Detiene la circulación de la savia en la hoja y se enrolla hacia adentro	Desarrollo, fructificación y cosecha	Sulfocop	1 litro
Araña Roja	Succiona la savia en la hoja, se pone ceniza y provoca manchas amarillas; cuando el ataque es severo forma telaraña	Desarrollo, fructificación y cosecha	Sulfocop Malathion	1 Litro
Pulgones	Provoca enchinamiento y virosis, cuando el ataque es severo presenta la fumagina.	Fructificación y cosecha	Tamarón	1 litro
Mosquita blanca	Transmite la virosis, se detiene el desarrollo de la planta	Desarrollo y fructificación	Confidor	500 centímetros cúbicos
Gusano alfiler	Ataca el fruto desde la floración	Floración y fructificación	Thiodan	1.5 litros
Gusano del fruto	Ataca el follaje y frutos	Fructificación y engorde de fruto	Lannate Pounce	400 gramos 600 Centímetros cúbicos

2.14. Arenas salitrosas en cultivos

Uno de los problemas que afectan la productividad en el norte de Tamaulipas es la alta salinidad (Zamolinski, 2000). El exceso de sales se considera una de las causas de degradación del suelo y afecta la disponibilidad de nutrimentos que se refleja en bajo rendimiento de los cultivos, el drenaje deficiente y la falta de tecnologías, para prevenir o corregir, contribuyen a esta problemática.

En los sistemas de cultivo sin suelo resulta relativamente fácil llegar a situaciones de exceso de salinidad en sustrato, principalmente cuando se manejan aguas salinas, aportes inadecuados de fertilizantes o una mala gestión de riegos. Los excesos de sales provocan desequilibrios nutricionales en la planta, llegando a producir pérdida en la producción. Como síntoma, aparecen desecaciones en los ápices de las hojas, reducción del crecimiento, frutos de menor tamaño, mayor susceptibilidad a determinadas enfermedades e incluso desecamiento de la planta (Baixauli y Aguilar, 2002).

Se considera suelo salino a aquel cuya conductividad eléctrica (CE) en extracto saturado excede los 4 ds /m. El nivel posible máximo tolerable de acumulación de sal en el suelo es el nivel en el que las raíces pueden todavía absorber agua. Esto depende de la tolerancia natural de la planta en cuestión (<http://www.ana.gob.pe/media/496359/salinidad.pdf>). Para estimar la salinidad de un suelo, se mide la conductividad eléctrica (CE) de una solución extraída de una pasta de suelo saturado con agua y se expresa en milimhos por centímetro (mmhos/cm) o en decisiemens por metro (ds/m). Visualmente puede establecerse la naturaleza e intensidad del problema observando el estado del suelo y vegetación. Las sales ejercen sobre la vegetación varios efectos nocivos. Por un lado, al aumenta la presión osmótica de la solución del suelo, disminuye el agua aprovechable por las plantas. También existe la toxicidad específica de algunos iones y las carencias condicionadas, provocada por exceso de algunos cationes que impiden la absorción de otros (Zamolinski, 2000).

2.14.1. Arena

Material de naturaleza silíceo y de composición variable, dependiendo de la roca silíceo original. El tamaño de las partículas debe de estar comprendido entre 0,002 y 2 mm. y una adecuada distribución de los tamaños. Tiene una densidad aparente de 1,5 g/cm³, un espacio poroso menor del 50 por ciento. Con tamaños de partícula inferiores a 0,5 mm la capacidad de retención de agua es alta. Con los tamaños aconsejados presenta un buen drenaje (Baixauli y Aguilar, 2002).

2.14.2. Los suelos afectados

La tierra afectada o susceptibles a sufrir procesos de alcalinización y salinización, ocupan una área de deficiente drenaje, con alta susceptibilidad al anegamiento, un ejemplo de ella es la que se ubica en el noroeste de la provincia de buenos aires, sureste de Córdoba y Sur de Santa Fe y fisiográficamente forma parte de la Pampa arenosa. Los suelos se han desarrollado a partir de los materiales arenosos recientes de espesor variable, asentados sobre limos arenosos de origen loessico y textura fina, poco permeables. El contacto entre ambos materiales constituye un obstáculo que retiene las aguas sub- superficiales con carácter de freática (Zamolinski, 2000).

2.14.3. Recuperación de suelos salinos

La salinización es un proceso parcialmente reversible. Cuando ocurren ciclos climáticos normales para la región, el agua de lluvia pueden lixiviar los suelos a horizontes profundos, dando lugar a una recuperación natural. Este proceso a veces es muy lento, pero puede ser acelerado si se practica la remoción superficial del suelo manteniendo la cobertura vegetal, con lo que se impide la incidencia directa de la energía evaporante, evitando la concentración de sales en superficie (Zamolinski, 2000).

2.15. Aborto de flores por exceso de temperatura

Existen numerosas razones para el aborto de flor en chile y tomates que afectan comúnmente a cultivos tanto en campo abierto, como en casa sombra o invernaderos pasivos (sin calefacción). La caída de flor puede ser resultado de una falta de fecundación de los óvulos, como respuesta a cualquier estrés ambiental sufrido por la planta. La alta temperatura reduce significativamente la disponibilidad del polen y lo hacen inadecuado o no viable para una polinización apropiada. En esencia, el polen se muere cuando es expuesto a temperatura superior a 29 ó 30°C (www.hortalizas.com). En un invernadero sin calefacción la principal fuente de calor durante el día es la radiación solar, parte de la cual es almacenada en el suelo (Castilla, 2005). La falta de fecundación suele también estar producida por temperatura de menos de 10 °C. En este último caso, el fenómeno suele estar asociado a una falta de polinización, que en algunos cultivares deriva en el desarrollo de frutos partenocárpico (Nuez *et al.*, 1995).

2.16. Problemas de algas en suelos de fertirriego

El consumo de fertilizantes es uno de los indicadores claves de la intensificación de la agricultura y del desarrollo agrícola, donde el nutriente más utilizado es el nitrógeno, ya que éste afecta directamente el rendimiento y la calidad del producto. Cabe observar con preocupación el efecto del nitrógeno sobre el medio ambiente, ya que puede causar la eutrofización de las aguas, el crecimiento excesivo de algas, la acidificación del suelo y destrucción de los hábitats naturales con bajo contenido en nutrientes (Tassara y Ortega, 2003).

La precipitación a partir de las sustancias disueltas en el agua y de las aportadas por los fertilizantes, en ocasiones causantes del taponamiento continuo, de graves consecuencias que debe eliminarse con tratamientos periódicos. Algas y bacterias son otra importante fuente de taponamiento. El taponamiento de

goteros origina disminución de la cantidad de agua aplicada y de la uniformidad del agua y los fertilizantes (Jasso *et al.*, 2006).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización geográfica del sitio experimental

La investigación se llevó a cabo en un invernadero localizado en el Campo Experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua – Suelo – Planta Atmósfera (CENID – RASPA), que se localiza en la Región Lagunera a los $25^{\circ} 35' 23.6$ Latitud Norte, $-103^{\circ} 27' 13.1$ longitud Oeste, a una altitud de 1135 MSNM. Está ubicado en el km. 6+500, margen derecha del canal principal Sacramento, en el municipio de Gómez Palacio, Dgo., México. La temperatura máxima promedio normal es de 28.6°C , la mínima de 12.3°C , la evaporación y precipitación acumulada anual son de 2488 mm y 215 mm, respectivamente (Villa *et al.*, 2005). El invernadero tubular estuvo cubierto en sus lados de maya anti-afidos y el techo con plástico y malla sombra 50:50. Se adaptaron ventilas que para su apertura y cierre con mecanismos para el intercambio de aire (Figura 6).

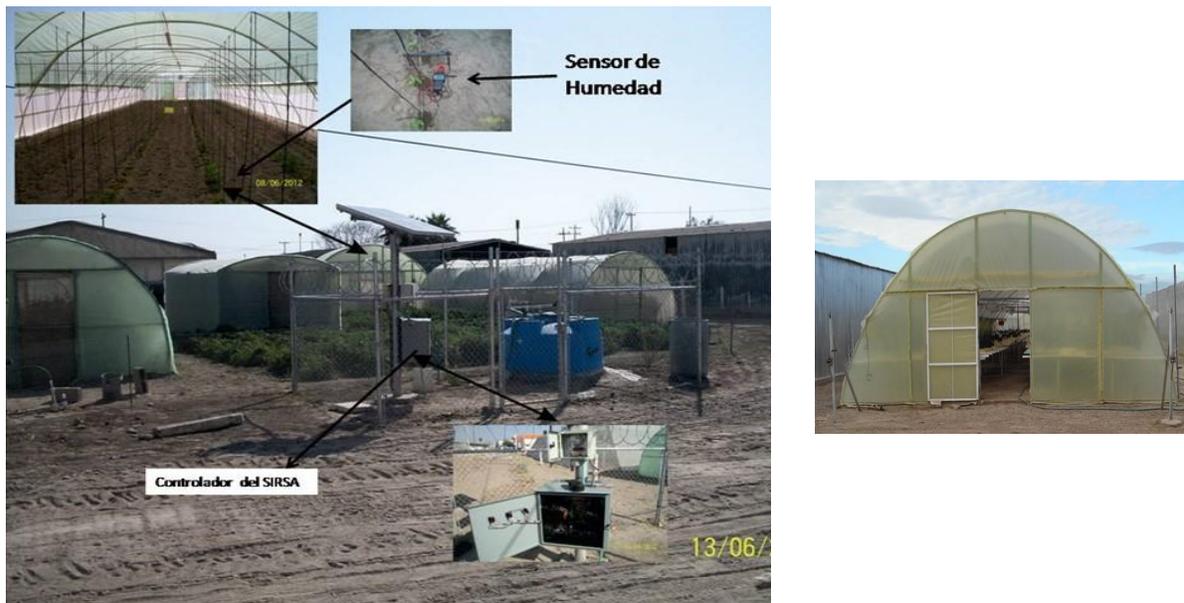


Figura 6. Invernadero tubular sin climatización donde se probó la automatización de la bomba solar.

3.2. Fertirrigación

Se utilizaron productos solubles recomendados por Villa *et al.*, 2010. El fertirriego se dio mediante un tinaco con la solución nutritiva y con una bomba eléctrica en paralelo a la alimentación al sistema de riego (Figura 7). El fertirriego fue aplicado en forma manual con duración de 10 a 20 minutos diarios, se usaron tres soluciones nutritivas S1, S2 Y S3. Las concentraciones se muestran en el Cuadro 3, las cuales se aplicaron conforme al desarrollo del cultivo.



Figura 7. Tanque fertilizador con las soluciones nutritivas S1, S2 y S3.

Cuadro 3. Concentración de nutrimentos usada en las diferentes soluciones.

	S1	S2	S3
fertilizante	gr/l de agua	gr/l de agua	gr/l de agua
multi MKP	0,245	0,343	0,408
multi NPK	0,182	0,309	0,364
Nitrato de Mg	0,461	0,553	0,932
nitrato de Ca	0,449	0,827	0,563
maxiquel	0,035	0,045	0,045
ac. Fosforico	0,17	0,13	0,17

Las aportaciones son de los fertilizantes son; muti MKP (0-52-34), multi NPK (13-2-44), nitrato de magnesio (11-00-00+16MgO), nitrato de Ca (15.5-00-00+26 CaO).

La aplicación se realizó conforme a la reposición de agua en el tinaco, de volumen de 2,084 litros (Cuadro 4). La primera solución (S1) se aplicó durante un mes después del trasplante. La solución dos (S2) se aplicó durante 15 días durante el desarrollo del cultivo y la última solución (S3) se aplicó en gran parte del desarrollo del cultivo y durante la cosecha.

Cuadro 4. Soluciones para la aplicación diaria de la fertirrigación.

Fecha	S1			S2		S3			
	27/04/20 12	14/05/20 12	16/05/20 12	21/05/20 12	29/05/20 12	05/06/20 12	15/06/20 12	26/06/20 12	06/07/20 12
fertilizantes	gr								
Multi MKP	511	376	213	194	557	850	742	742	540
Multi NPK	379	280	265	175	502	759	662	662	482
Nitrato de Mg	961	708	13	313	899	1942	1695	1695	1235
Nitrato de Ca	936	690	675	467	1344	1173	1024	1024	746
Maxiquel	73	54	21	25	73	94	82	82	60
Ac. Fosforico	354	261	0	73	211	354	309	309	225
Altura del tanque restante	0cm	31 cm	81 cm	81 cm	26	0 cm	15 cm	15 cm	43 cm
Volumen por reponer en litros	2084	1537	530	565	1625	2084	1819	1819	1325

19/07/2012	31/07/2012	02/08/2012	10/08/2012	22/08/2012	07/09/2012	28/09/2012	16/10/2012	06/11/2012
gr								
814	749	345	721	742	814	778	634	764
726	669	308	643	662	726	694	566	681
1860	1712	788	1646	1695	1860	1778	1448	1745
1124	1034	476	994	1024	1124	1074	875	1054
90	83	38	79	82	90	86	70	84
339	312	144	300	309	339	324	264	318
5 cm	14 cm	88 cm	18 cm	15 cm	5 cm	10	30 cm	12 cm
1996	1837	530	1766	1819	1996	1917	1487	1455

3.3. Manejo del cultivo

3.3.1. Siembra y trasplante

La siembra se hizo en charolas de poliestireno con 200 cavidades llenas con una mezcla de turba (peatmoss), perlita y vermiculita en proporción de 70:15:15 en base a volumen, (Figura 8). Las charolas se desinfectaron previamente con una solución clorada al 10% de concentración por un tiempo de 30 minutos y después se enjuagaron con agua limpia. Se utilizó habanero color naranja. Las plántulas se regaron con agua de la red de agua potable hasta la aparición de hojas verdaderas, después con una solución nutritiva conteniendo 70-90-70 mg L⁻¹ de N, P y K, respectivamente.



Figura 8. Siembra en charolas de poliestireno de 200 cavidades.

Cuando las plántulas alcanzaron una altura de 15 a 17 cm, y de seis a ocho hojas se llevó a cabo el trasplante (Figura 9). Este se hizo en una superficie de 25m x 8 m, con 20 cm, de sustrato de arena y piedrilla. Antes y después del trasplante se aplicó un riego.



Figura 9. Trasplante de la plántula (Altura de 15 a 17 cm.)

3.3.2. Riego

Se instaló un sistema de riego por goteo, con una cintilla enterrada a 10 cm (Figura 10). La aplicación de agua se realizó en base al sensor de humedad de fabricación propia (Figura 11), que midió directamente el contenido de humedad en el suelo con previa calibración para aplicar automáticamente el riego con la cantidad de agua necesaria para mantener el régimen hídrico en el cultivo. Se aplicó un riego con duración 3 a 4 horas diarias, para el riego se ajustó el sensor a los voltajes siguientes durante el ciclo. Se inició en el trasplante con 0.5 - 0.9 voltios de corriente alterna, para distintas cantidades de agua y esta se monitoreaba en el suelo mediante muestreo gravimétrico. Por otro lado, el fertirriego fue de forma manual con duración de 10 a 20 min, las láminas de riego variaron conforme a la edad del cultivo y condiciones climatológicas.



Figura 10. Sistema de riego con una hilera de cintilla.



Figura 11. Sensor de humedad de fabricación propia.

3.3.3. Tutorado

El tutorado se hizo con rafia (Figura 12), los cuales se amarraron en la parte alta de la estructura del invernadero tubular, también se usaron arillos de plástico para ajustar el tallo con la rafia.



Figura 12. Tutorado con hilos de rafia.

3.3.4. Deshojado

Consistió en quitar las hojas senescentes (Figura 13) con el fin de lograr una mejor ventilación y evitar la propagación de enfermedades.



Figura 13. Deshoje de hojas senescentes

3.3.5. Aplicación de pesticidas

Durante el desarrollo del cultivo se presentó incidencia de Mosca Blanca (*Bemisia tabaci*). Que se controló con 3 aplicaciones de insecticidas orgánicos neem 75 ml compa 15 ml bug balancer 100 ml y 2 starion (22 ml) y con 2 aplicaciones de abamectina (75 ml) se controló la araña roja.

3.3.6. Aplicación de fertilizantes foliares

En el ciclo vegetativo del chile habanero se aplicaron fertilizantes foliares que fueron el agromil plus con una aplicación y 3 aplicaciones foliar blend, fueron aplicados desde floración y en cosecha cuando se requerían.

3.3.7. Escarda

Durante el cultivo se realizaron escardas con el azadón para eliminar alguna maleza y formación de algas a un lado de la cintilla de riego.

3.4. Cosecha

La cosecha se llevó a cabo cuando el fruto mostró el color anaranjado característico del material genético (Figura 14), se hicieron 13 cortes en total con un rango entre corte de 8 a 15 días (uno en verde no contabilizado).

El muestreo de cosecha del lote experimental es indicado en la Figura 15. Donde en 6 líneas regantes se muestrearon metros lineales, en 3 líneas (1,3 y 5) se encuentran 3 metros lineales cada una y en las 3 restantes (2,4 y 6) hay 2 metros lineales en cada una. En total se cosecharon 15 metros lineales.



Figura 14. Cosecha del chile habanero

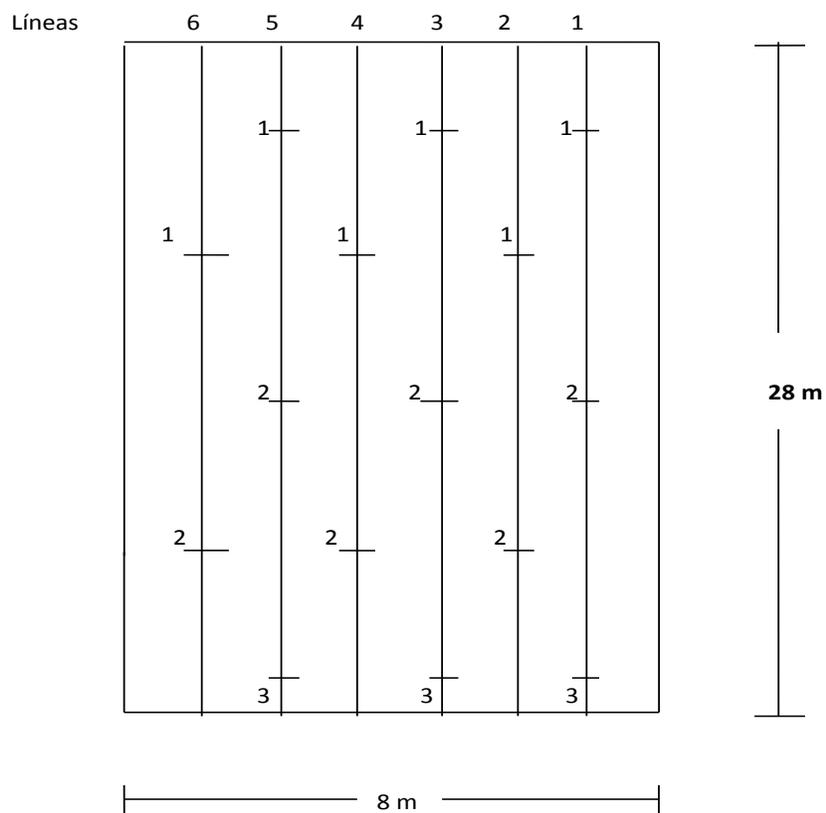


Figura 15. Esquema del muestreo de cosecha en el lote experimental.

3.5. Variables evaluadas

Se cuantificó el agua requerida en los riegos o la lámina de riego aplicada, monitoreando simultáneamente contenido de humedad por método gravimétrico para validar al sensor de humedad en el suelo, la energía requerida y producida por el panel solar, el rendimiento del fruto fresco de toda la parcela experimental, en total se cosecharon 15 metros lineales. La Figura 15 se muestra la distribución de lote experimental y planeación del muestreo realizado, considerando dos accesos en las entradas se reduce la parcela útil de 25 m, por lo que su cosecha real fue de 25 m X 6 Líneas de Riego (espaciadas a 1.305 m).

Debido a que se presentó temperatura alta en el invernadero, por no tener clima controlado, se tomó la decisión de medir la temperatura del ambiente del invernadero, para que en base a esta variable, tomar las medidas necesarias para evitar la mortandad de las plantas del chile, ante esta condición en dichos tiempos fue necesario tener ventilas abiertas de los plásticos para su ventilación natural a través de malla antiafidos.

3.6. Suma de cuadrados

El criterio para determinar si el muestreo poblacional de cosecha tuvo comportamiento normal o sesgado, en estos casos, existen funciones matemáticas que modelan un proceso físico tantas como se quiera, y obviamente no es posible probarlas todas para un problema en particular. Por lo tanto es necesario escoger, de esas funciones, la que se adapten mejor al problema bajo análisis, existen métodos como, máxima verosimilitud, prueba de bondad de ajuste y del error cuadrático mínimo, (Aparicio., 1992) en este caso particular se optó por este último para la selección de la mejor distribución (Normal, Ln Normal) del muestreo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Lamina de riego aplicado y control de humedad en el riego

El Sistema de riego automatizado con energía solar permite regular la humedad del suelo de 0 a 30 cm, mediante un sensor de humedad metálico instalado en el perfil del suelo que funciona con dos polos con cargas de voltaje AC (+,-) permitiendo mantener el régimen de humedad deseado mediante el apagado y/o encendido acorde a la humedad deseada en función de la textura del suelo, para los riegos se ajustó el sensor a los voltajes siguientes durante el ciclo. Se inició en trasplante con 0.5 - 0.9 voltios corriente alterna, para distintas cantidades de agua y esta se monitoreaba en el suelo mediante muestreo gravimétrico, también de forma manual un fertirriego con duración de 10 a 20 min, las láminas de riego variaron conforme a la edad del cultivo y condiciones climatológicas. La lámina de agua total aplicada durante el experimento fue de 161,86 cm (1.62 m) (Figura 16).

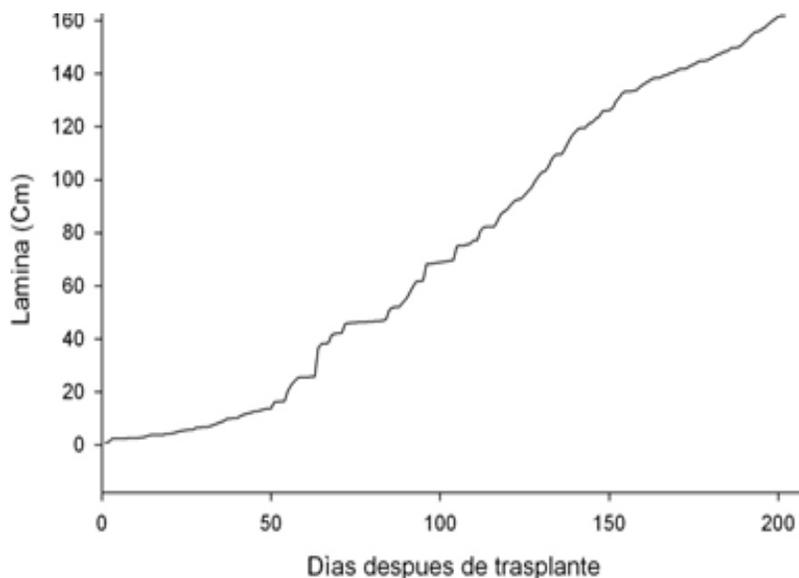


Figura 16. Lamina de riego aplicada por goteo automatizado usando energía solar en chile habanero de trasplante.

La textura de 0 a 15 cm fue de textura franco arenosa (cc =10.5 %, ppm = 5.13 %), de 15 a 30 cm la misma textura mezclada con grava en una proporción de 30 % y finalmente el perfil de 30 a 60 cm fue de suelo arcillo limoso (cc =31.2 %, ppm = 19.281 %).

En la Figura 17, se proporcionan las condiciones de humedad en las que se encontró la profundidad de 0 a 30 cm. Considerándose este el horizonte dinámico de la fertirrigación. Los sobre riegos aplicados lograron mantener la humedad por encima de capacidad de campo durante todo el ciclo del cultivo, esto fue para evitar problemas de salinidad. Se generaron algas superficiales por exceso de humedad y las soluciones de fertirrigación aplicadas, para atenuarlo se realizaron escardas diarias. El estrato de 30-60 (Figura 18), presento condiciones de humedad por abajo de capacidad de campo, una bondad de este control de riego es que no se tuvo pérdida de agua por percolación profunda.

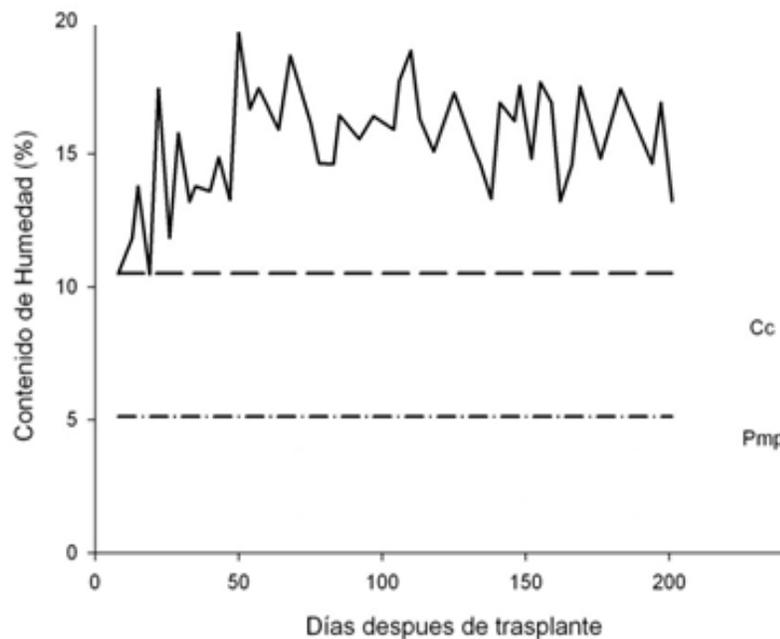


Figura 17. Contenido de humedad en el suelo durante el ciclo vegetativo del cultivo en la profundidad de 0-30 cm.

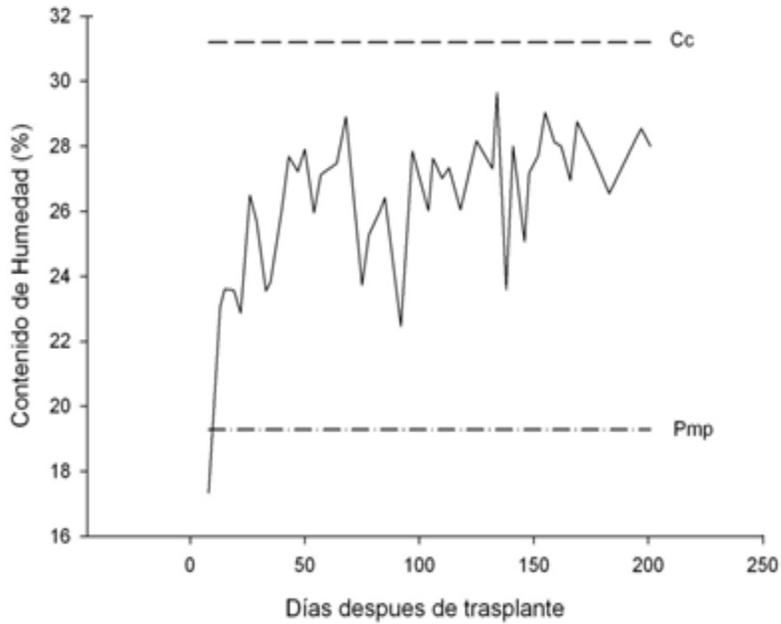


Figura 18. Contenido de humedad en el suelo durante el ciclo vegetativo del cultivo en la profundidad de 30-60 cm.

4.2. Temperatura en chile habanero

La temperatura ambiental dentro del invernadero tubular, fue medida durante el ciclo del cultivo, de acuerdo a la literatura, se considera que el cultivo expuesto por encima de 35 °C puede ser afectado y si dicha exposición es muy continua, puede haber daño en forma irreversible. La temperatura óptima del cultivo es de 28 °C, para obtener un buen crecimiento, desarrollo y rendimiento.

Los días dentro ciclo del cultivo, que afectaron las temperaturas extremas son mostrados en la Figura 19. Se observa que el cultivo estuvo en más del 50 por ciento de su estancia en el invernadero bajo condiciones adversas de temperatura extrema, ante esta condición en dichos tiempos fue necesario tener ventilas abiertas de los plásticos para su ventilación natural a través de malla antiafidos.

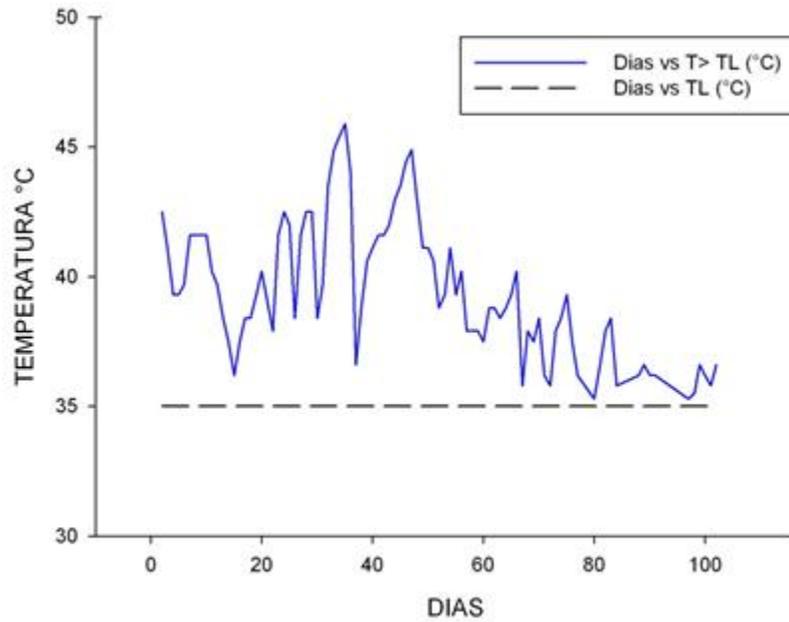


Figura 19. Temperatura de exposición del chile habanero bajo invernadero sin climatización a partir del trasplante. Donde TL es temperatura máxima

4.3. Agua y energía requerida en el riego

El volumen de agua aplicado con riego automático fue de 287 m³ y el volumen de agua aplicado con el fertirriego de 38 m³. El caudal de la unidad de riego del invernadero fue de 558 L h⁻¹, el punto de bombeo al caudal del riego fue de 590 L h⁻¹, la carga total dinámica (CTD) de 19 m y la potencia eléctrica de 88 W (Figura 20). Se proporcionó el caudal de 558 L h⁻¹ mediante una válvula de alivio de la bomba, lo que discrepa del punto de bombeo.

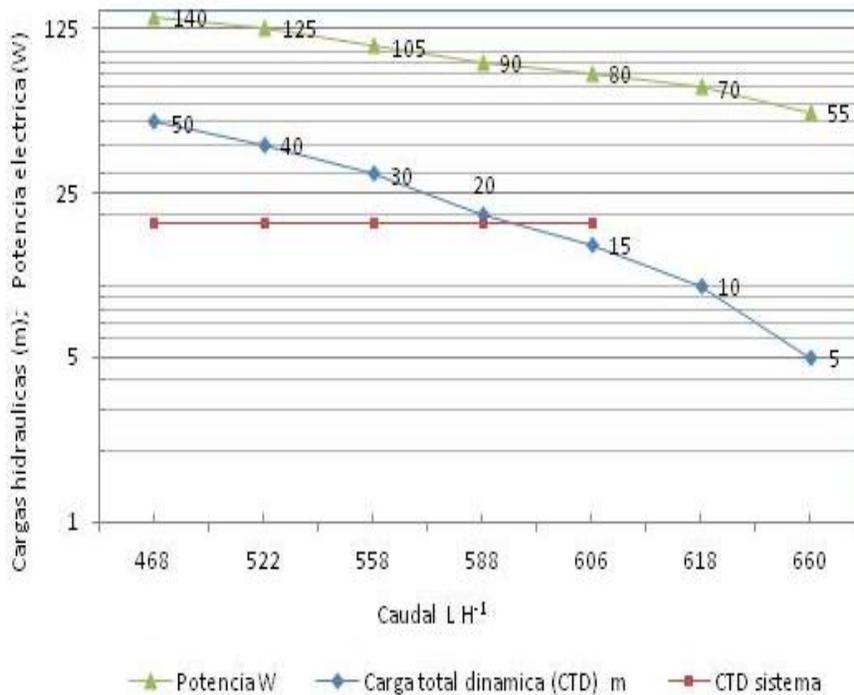


Figura 20. Curva característica de bomba solar CENID RASPA con batería de 48 V en invernadero tubular comercial.

El total de tiempo de riego fue de 514 h, la potencia consumida en el riego total fue de 53970 Watts, la eficiencia de transformación de los paneles solares son muy bajas hasta 15 por ciento por lo que la potencia solar para la bomba por el panel sería de 359,800 Watts.

Mediante una estación climatológica automatizada la energía solar medida fue de 2'613,183 Watts (Figura 21).

De acuerdo a la disponibilidad de energía estimada y la potencia solar para la bomba por el panel, se logra abastecer 7 invernaderos como el estudiado en esta investigación o bien se puede atender una superficie agrícola de 1370 m².

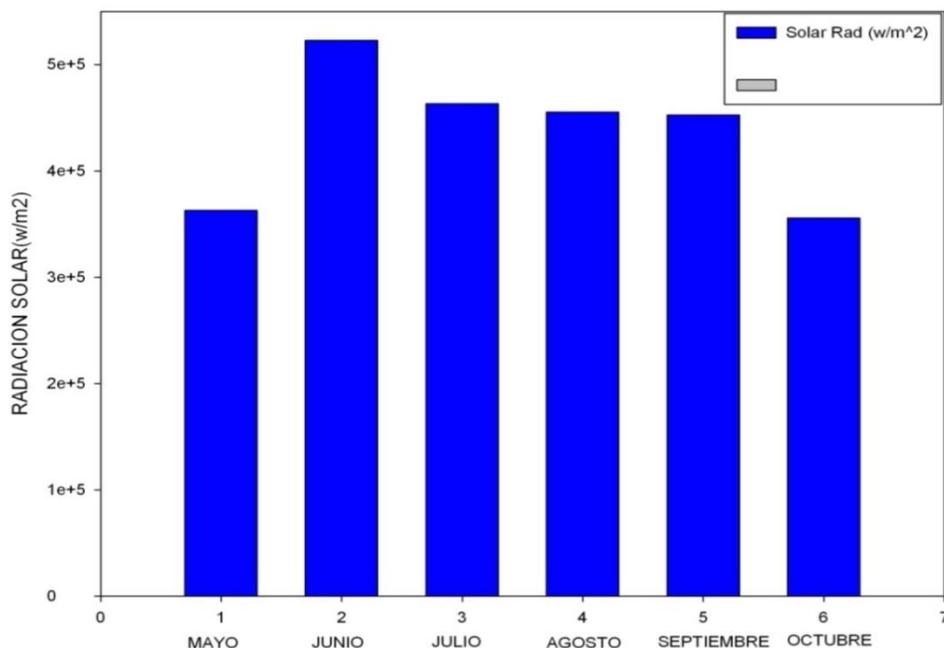


Figura 21. Radiación solar disponible durante el ciclo del cultivo.

4.4. Rendimiento de fruto fresco

En la determinación del rendimiento de fruto fresco se realizaron 12 cortes. Con una lámina de agua total de 1.62 m equivalente a un volumen de 317 m³ en el área del invernadero, con la finalidad de presentar la media poblacional del rendimiento del chile habanero ante tantos efectos de humedad y temperatura ambiental, se procedió a obtener metros lineales de manera sistemática conforme a la Figura 15, en el Cuadro 5 se muestran los metros lineal muestreados de planta de chile Habanero, para la obtención del rendimiento promedio. Donde se determinó el logaritmo natural (Ln), función de distribución de probabilidad normal (FDP normal), función de distribución log normal (FDP log normal), esto con la finalidad de determinar el comportamiento poblacional normal o sesgado.

Cuadro 5. Metros lineal muestreados de planta de chile Habanero, para la obtención del rendimiento promedio Kg m⁻¹.

Metro lineal	Kg/m	Ln(Kg/m)	FDP Normal	FDP LogNormal	∑ de Cuadrados	∑ de Cuadrados
			Kg/m	Ln(Kg/m)	Kg/m	Ln(Kg/m)
1.1	2.4	0.89	2.62	0.51	0.0365	0.1407
1.2	2	0.68	2.34	0.39	0.1375	0.084
1.3	0.6	-0.43	1.53	-0.27	0.7856	0.0256
2.1	0.5	-0.79	1.41	-0.49	0.9274	0.0937
2.2	0.9	-0.14	1.67	-0.1	0.6371	0.0015
3.1	1.3	0.27	1.94	0.14	0.395	0.0155
3.2	0.9	-0.07	1.71	-0.05	0.5981	0.0001
3.3	1.1	0.14	1.84	0.07	0.4769	0.0052
4.1	1	0.02	1.76	-0.01	0.5506	0.0005
4.2	2.1	0.74	2.41	0.42	0.104	0.099
5.1	0.9	-0.15	1.66	-0.11	0.6459	0.0021
5.2	0.9	-0.13	1.67	-0.09	0.6343	0.0014
5.3	0.9	-0.12	1.68	-0.09	0.6287	0.0011
6.1	1.4	0.31	1.97	0.17	0.3659	0.0204
6.2	0.2	-1.44	1.28	-0.87	1.0969	0.3238
Promedio (Kg)	1.14	-0.02				
Desv Std (kg)	0.61	0.59		∑	8.0205	0.8145
CV	0.53	-37.39		√∑	2.8321	0.9025
Asim	0.84	-0.75				
Curtosis	0.22	1.31				
Mediana	0.94	-0.07				

Del Cuadro 5 se determina que la población muestreada no presenta comportamiento normal, es ajustado más bien a una función de distribución Log normal, esto debido a los efectos de temperatura y sobre riego aplicados, así la suma de cuadrados lo corrobora con su más bajo valor, de tal manera que el estimador de la media es cosecha promedio por metro lineal = $e^{-0.02} = 0.98$ Kg/m; con este valor y seis líneas de riego de 25 m cada una espaciadas a 1.305 m, se obtiene una producción total de 147 kg (coincidente con lo cosechado totalmente). Con esta producción dividida entre la superficie irrigada (25m X 1.305m X 6) se obtiene un rendimiento de 0.75 Kg m⁻² (750 g m⁻²), las temperaturas altas afectaron al rendimiento del cultivo ya que este provoco aborto de flores.

El rendimiento obtenido es similar al de 0.73 Kg m^{-2} con dosis de fertilización diaria de 17 Meq L^{-1} de aniones y cationes (Villa *et al.* 2010), en el que se evaluó la respuesta del chile habanero a tres densidades de plantación y tres soluciones nutritivas bajo condiciones de invernadero de clima controlado, el rendimiento total obtenido en el estudio fue menor al obtenido por Pérez *et al.* 2008, que obtuvo un rendimiento de 2.37 kg m^{-2} , a campo abierto.

V. CONCLUSIONES

El aprovechamiento de la energía solar para la automatización de un sistema de riego es posible con el diseño e implementación de un controlador de riego propio con un sensor de humedad de agua en el suelo.

La producción de chile fresco fue de 0.75 g m^2 (7.5 t ha^{-1}), con una lámina de riego de 1.62 m.

La temperatura alta influyo en el rendimiento del cultivo.

El aprovechamiento de la energía renovable es de mucha utilidad para zonas marginadas carentes de energía eléctrica o de combustibles, además de generar ahorro en los costos de producción.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Aparicio Mijares Francisco J. 1992. Fundamentos de hidrología de superficie. Método de Error cuadrático Mínimo. Editorial Limusa S.A. de C.V. Primera Edición.
- Arija, G, D.2010. Prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico para proyectos de cooperación al desarrollo con tecnologías apropiadas. Universidad Carlos III de Madrid. Leganés. P 8. Consultado en mayo del 2014. (<http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10871/PROYECTO%20fina.%20Dovid%20Arija%20Gonzalez.pdf?sequence=1>).
- Baixauli, S.C., Aguilar, O.J. M. 2002. cultivo sin suelo de hortalizas cultivos prácticos y experiencias. Serie divulgación técnica, Valencia. Generalitat valenciana. P 75. consultado mayo del 2014.<http://www.ivia.es/sdta/pdf/libros/n53.pdf>.
- Castilla, N. 2005. Invernaderos de plástico: Tecnología y manejo. Primera edición. Grupo Mundi Prensa. Madrid España. P. 73.
- F. Nuez, R. Gil Ortega, J. Costa. 1995. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi Prensa. P. 360-361.
- Gutiérrez, V. J. 2001. Energía renovable en el siglo XXI. Primera edición. Monterrey, México. P. 11
- Jasso, Ch. C., Martínez. M. A., Huerta, D. J. 2006. ¿Cómo producir maíz con fertirriego en el altiplano de san Luis potosí?. Folleto para productores No.43. San Luis potosí. México. P. 10. Consultado en mayo del 2014. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/711/1/36.pdf?sequence=1>
- Lesur Luis. 2006. Manual del cultivo del chile: una guía paso a paso. Trillas. México. P. 21 .

- Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica/Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. - San José, C. R: Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. Pp 4,7. Consultado en mayo del 2014. <http://www.bunca.org/publicaciones/FOTOVOLT.pdf>
- Navarrete, R. J. A. Soria, F.M.J., Tun, S.J.M., Trejo, R. J.A., Teran, S.R. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense jacq*). Instituto Tecnológico Agropecuario No.2. Conkal, Yucatán. Pp.3,16-20,71. Consultado en mayo del 2014. http://www.cofupro.org.mx/cofupro/archivo/fondo_sectorial/Michoacan/32mic hoacan.pdf
- Pérez, G, A., Pineda, D. A; Latournerie, M. L., Pam, P. W., Godoy, Á. C. NIVELES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL EN LA PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO; Terra Latinoamericana, Vol. 26, Núm. 1, enero-marzo, 2008, P. 53. Universidad Autónoma Chapingo México.
- Perpiñán, L. O. 2012. Energía solar fotovoltaica. P. 113. Consultado en mayo del 2014.http://procomun.files.wordpress.com/2012/09/esf_operpinansep2012.pdf.
- Prado, U. G. 2006. Tecnología de producción Comercial de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq*). Villahermosa, Tabasco. Consultado en mayo del 2014. http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/1204/manual_de_chile_habanero.pdf
- Román L A., M.A. Inzunza I., E. A. Catalán V., I. Sánchez C., M. M. Villa C., y F. Contreras de la R. 2008. Riego por goteo y su automatización. Libro técnico Nº 3, CENID-RASPA, INIFAP.
- Román L A., S. F. Mendoza M., M. A. Inzunza I., I. Sánchez C. y L. Moreno D. 2007. Diseño de sistemas de riego presurizado con programa de computo, folleto científico 22 del INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio, Durango.

Ruiz L.N., Medina L. F., Martínez E. M. 2011. El chile habanero: su origen y usos. P 70. Consultado en mayo del 2014.http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/62_3/PDF/Habanero.pdf.

Santoyo, J. J. A. Variedades de chile habanero en casa sombra. Centro de Validación y Transferencia de Tecnología de Sinaloa, A.C Fundación produce Sinaloa, A.C. Resultados de proyectos. P. 70 -71. Consultado en mayo del 2014.http://www.cofupro.org.mx/cofupro/archivo/fondo_sectorial/Sinaloa/16sinaloa.pdf

Santoyo, J.J. A., Martínez, A.C. O. 2012. Tecnología de producción de chile habanero en casa sombra en el sur de Sinaloa. Fundación produce Sinaloa. Pp. 7, 9-10, 20. Consultado en mayo del 2014. [.http://www.fps.org.mx/divulgacion/attachments/article/978/RP%20Habanero2012%20OK.pdf](http://www.fps.org.mx/divulgacion/attachments/article/978/RP%20Habanero2012%20OK.pdf).

SNL (Sandia National Laboratories) 2001. Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica volumen 1 libro de consulta 93, http://www.itacanet.org/esp/electricidad/Guia_Bombeo_Agua_Energia_Fotovoltaica_Vol2_Libro_de_trabajo.pdf .

TASSARA, C.; ORTEGA, R. 2003. Eurepgap y la regulación chilena en el uso de fertilizantes y plaguicidas. Agronomía y Forestal UC.

Tun D. J. C. 2001. Chile habanero características y tecnología de producción. Mocochoá, Yucatán México. Folleto técnico. Pp. 9, 12, 38-39. Consultado en mayo del 2014.<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/3030/CHILEHABANEROcaracteristicasytecnologiadeproduccion.pdf?sequence=1>

Van, Campen. B., D. Guidi y G. Best. Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenible. 2000. Documento de trabajo sobre medio

ambiente y recursos naturales, núm. 3. FAO. Roma. Pp. 41-43. Consultado
10 de abril del 2014.
<http://www.fao.org/sd/spdirect/spdocuments/fvfulltext.pdf>

Villa C. M.M., E. A. Catalán V., M. A. Inzunza I., A. Román L. y H. Macías R. 2010.
Solución nutricional y población de plantas de chile habanero bajo
invernadero. AGROFAZ volumen 10 numero 3, 2010.

Zamolinski, A. F. 2000. Experiencias en recuperación de suelos salinizados.
Publicación técnica N°31.ISSN-0326-5803. INTA. Argentina. Pp. 3-4.
Consultado en mayo del 2014.
http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/suelos_salinos/35-salinizados.pdf.

[http://www.intagri.com.mx/La_produccion_del_chile_habanero_en_invernadero.ht
ml.](http://www.intagri.com.mx/La_produccion_del_chile_habanero_en_invernadero.html)

http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45334/componente45332.pdf

