

**“UNIVERSIDAD AUTONÓMA AGRARIA ANTONIO
NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**“DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA
LA PRODUCTIVIDAD DE CULTIVO EN INVERNADERO”**

POR

ARMANDO NAHLE MARTÍNEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA

JUNIO 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. **ARMANDO NAHLE MARTÍNEZ** QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

H. JURADO EXAMINADOR:

PRESIDENTE: _____

Ph.D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA

VOCAL: _____

DR. GUILLERMO GONZÁLEZ CERVANTES

VOCAL: _____

M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL SUPLENTE: _____

M.C. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ

DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

JUNIO 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA LA
PRODUCTIVIDAD DE CULTIVO EN INVERNADERO.**

Por:

ARMANDO NAHLE MARTÍNEZ

TESIS

Que somete a consideración del Comité Asesor, como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

Asesor principal: _____

Ph.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

Asesor: _____

DR. GUILLERMO GONZÁLEZ CERVANTES

Asesor: _____

M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

Asesor: _____

M.C. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ

DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA

JUNIO 2014



Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

DEDICATORIA

Este trabajo se les dedica con cariño y esfuerzo, a mis padres que creyeron en mí.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis familiares, novia, amigos y profesores que me apoyaron y han estado conmigo todo este tiempo, pero principalmente a mis padres que me financiaron mis estudios.

INDÍCE

ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
RESUMEN	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Cultivo protegido	4
2.2. Invernadero	5
2.3. Tipos de invernaderos	5
2.3.1. Por su perfil externo	5
2.3.1.1. Plano	5
2.3.1.2. Capilla	5
2.3.1.3. Doble capilla	6
2.3.1.4. Diente de sierra	6
2.3.1.5. Parral	6
2.3.1.6. Túnel o semicilindro	7
2.3.1.7. Semielíptico	7
2.3.2. Por su movilidad	7
2.3.3. Según el material de cubierta	8
2.4. Factores climáticos al interior de un invernadero	8
2.4.1. Luminosidad	9
2.4.2. Temperatura	9
2.4.3. Humedad Relativa	9
2.4.1. Radiación solar	10
2.5. Levantamiento topográfico	10
2.6. El riego	11

2.6.1. Datos de tecnificación en La Laguna	12
2.7. Clasificación de sistemas de riego.....	12
2.8. Componentes principales de un sistema de riego por goteo	14
2.8.1. Fuente de agua	14
2.8.2. Unidad de bombeo	15
2.8.3. Cabezal de abastecimiento y regulación.....	15
2.7.3.1. Filtro de malla	15
2.7.3.2. Manómetro.....	16
2.7.3.3. Unidad de fertilización	16
2.7.4. Red de conducción y distribución	17
2.8.5. Goteros o emisores	18
2.8.6. Elementos para el diseño.....	20
2.8.7. Diseño hidráulico.....	20
2.7.8. Nebulización.....	20
2.9. Drenaje Agrícola	21
2.10. Automatización	21
2.11. Tipos de control	22
2.11.1. Control On-Off.....	22
2.11.2. Control proporcional	22
2.11.3. Control proporcional- integral	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Ubicación del sitio experimental	24
3.2. Metodología experimental.....	25
3.2.1. Levantamiento planímetro.....	25
3.2.2. Método de irrigación.....	25
3.2.3. Método de control de humedad.....	25
3.2.4. Diseño hidráulico.....	26
3.2.4.1. Pérdida de carga localizada	26
3.2.5. Instalación drenaje	27
3.2.6. Instalación riego	29

3.2.6.1. Bomba	32
3.2.6.2. Cabezal	32
3.2.7. Excavación	33
3.2.8. Automatización.....	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1. Diseño hidráulico	34
4.1.1. Diseño digitalizado	36
4.2. Eficiencia de bomba.....	37
4.3. Formula desarrollada del dren	39
4.3. Funcionalidad de dren	40
4.4. Uniformidad de riego.....	41
4.5. Funcionalidad de la nebulización	50
4.6. Instalación de tinaco	53
4.5. Automatización	53
V. CONCLUSIONES	54
VI. LITERATURA CITADA.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Esquema y ejemplo de un filtro de malla.....	16
Figura 2.2	Diseño básico de un sistema de riego por goteo.....	17
Figura 3.1	Ubicación geográfica del sitio experimental.....	24
Figura 3.2	Válvula para tinaco de 1”.....	29
Figura 3.3	Goma para inicial (lado izquierdo) e inicial (lado derecho).....	30
Figura 3.4	Inicial con válvula, armada para cintila (sección “A”).....	31
Figura 3.5	Inicial con válvula, armada para manguera (sección “B”).....	31
Figura 3.6	Partes de riego por goteo (sección “B”).....	32
Figura 3.7	Programador Rain bird.....	33
Figura 4.1	Diseño del riego por goteo.....	36
Figura 4.2	Diseño de nebulización.....	37
Figura 4.3	Diseño del dren.....	40
Figura 4.4	Salida de drenaje	41
Figura 4.5	Iniciales para cintilla	42
Figura 4.6	Aforo de cintilla.....	42
Figura 4.7	Aforo de cintilla.....	43
Figura 4.8	Grafica de Q en las cintillas.....	45
Figura 4.9	Cintilla instalada.....	46
Figura 4.10	Funcionalidad de cintilla.....	46
Figura 4.11	Aforo de goteros.....	47
Figura 4.12	Grafica de Q en goteros.....	49
Figura 4.13	Sección “D” nebulización.....	50
Figura 4.14	Sección “C” nebulizadores.....	51
Figura 4.15	Funcionalidad de nebulización.....	52
Figura 4.16	Tinaco instalado al exterior del invernadero.....	53
Figura 4.17	Invernadero en funcionamiento.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Métodos de riego.....	13
Tabla 4.1	Sección "A" de goteros independientes.....	37
Tabla 4.2	Sección "B" de goteros independientes.....	38
Tabla 4.3	Sección "C" y "D" de nebulizadores.....	38
Tabla 4.4	Suma de gastos totales contra la capacidad de la bomba.....	38
Tabla 4.5	Aforo de bomba.....	38
Tabla 4.6	Datos Aforo de las 120 cintillas.....	44
Tabla 4.7	Datos de Aforo a goteros.....	48

RESUMEN

El uso de sistemas de riego tiene como objetivo obtener mayores rendimientos en la producción de cualquier cultivo y evitar el gasto de agua. En la presente investigación se presenta el desarrollo de un diseño y automatización de un sistema de riego para la productividad de cultivo en invernadero. Se definió el uso de los métodos de goteo y nebulización. Mediante la realización de los cálculos hidráulicos, se establecieron las necesidades hídricas diarias, intervalos y tiempo de riego. Los cálculos hidráulicos se efectuaron para las cuatro secciones: una está conformado por cintilla, el segundo contiene goteros independientes y el tercero y cuarto están compuestos por 46 nebulizadores cada uno. De igual forma, se realizaron los cálculos de la tubería. El diámetro de la tubería principal comercialmente es de 1" y de $\frac{3}{4}$ ". Para satisfacer las necesidades del riego, se instaló una bomba de $\frac{1}{2}$ hp. El sistema de control automático implementado permitió que el riego se llevará a cabo a ciertas horas del día, sin que exista la necesidad de que se esté monitoreando y activando manualmente el riego por algún trabajador. Tiene capacidad para satisfacer: el riego implementado por cintilla, los nebulizadores y los goteros.

Palabras clave: Diseño, instalación, riego, invernadero y automatización.

I. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola es una actividad de vital importancia como base fundamental en el desarrollo autosuficiente e independencia alimentaria de las sociedades. Las actividades económicas que abarca la agricultura, tienen su fundamento en la explotación del agua y suelo o de los recursos que este origina, de ahí lo importante que es el ahorro de los mismos para su preservación.

Cada día en más regiones del mundo el agua se convierte en un recurso escaso y costoso, por lo que en la agricultura (el mayor consumidor de agua) se deben tomar medidas para hacer un uso más eficiente del agua. En México, se tienen problemas de disponibilidad de agua por su distribución fisiográfica y climática, contaminación del aguasuperficial, el incremento acelerado de la demanda que se requiere en el diferente uso (Moeller-Chavez *et al.*, 2002). La región Lagunera se ubica en una de las zonas de menor precipitación (100 - 400 mm) y mayor evapotranspiración (960 mm) de México (Instituto Nacional de Ecología, 2005). En la Laguna el uso agrícola emplea 81.3% del agua extraída del acuífero principal, hecho que ha derivado en un deterioro de su calidad (Soto-Balderas y Gómez-Guijarro, 2012), donde los métodos de riego (inundación y surcos) siguen siendo los mismos que hace 100 años y el aprovechamiento del líquido es mínimo, sufriendo pérdidas en su conducción (Canedo, 2013).

Generalmente en la agricultura se tiene un alto consumo de agua causado por la sobreirrigación, lo cual no sólo genera un desperdicio de agua, sino que también, debido a los agroquímicos disueltos, provoca la contaminación de corrientes de agua superficial y subterránea y en algunas zonas el ensalitramiento del suelo. Un conocimiento de las necesidades de agua de los cultivos no sólo permite un mejor desarrollo para una mayor producción y mejor calidad de la cosecha sino que contribuye también a ahorrar un considerable volumen de agua (IMTA, 1995).

A través del tiempo se han desarrollado una gran cantidad de métodos para la determinación, control y automatización del riego que permiten un consumo de agua más reducido. La meta del riego por goteo conlleva al ahorro al ser un sistema mecanizado a presión, que permite aplicar agua gota a gota sobre la superficie del suelo en el que se desarrolla el sistema radicular de la planta produciendo un humedecimiento limitado y localizado (Pizarro, 1996). El agua se vierte en pequeños volúmenes por unidad de tiempo y a baja presión mediante emisores o goteros insertados en una tubería lateral de distribución, los cuales son absorbidos por las raíces de la planta, aprovechándose prácticamente en su totalidad.

Además del ahorro de agua, una alta permanencia de humedad en el suelo con la consiguiente dilución de sales permite el uso de agua de baja calidad, y admite la aplicación de fertilizantes conjuntamente con el riego. De esta manera se logran otras ventajas como la disminución de mano de obra y consumo de productos, ya que brinda la posibilidad de fraccionamiento de la planta para adecuarla a las distintas necesidades nutritivas a lo largo del ciclo del cultivo, y de una mejor asimilación de los mismos (Rodrigo *et al.*, 2002).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación, fue optimizar la productividad del agua mediante el diseño de un sistema de riego por goteo y controladores de humedad ambiental mediante la automatización para el cultivo en riego suministrado en condiciones de agricultura protegida.

1.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de riego eficiente dentro de un invernadero, que satisfaga las necesidades de un determinado cultivo de forma automatizada.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cultivo protegido

El cultivo protegido es un sistema o método agrícola especializado en el cual se lleva a cabo un cierto control del medio edafoclimático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad y composición atmosférica). Mediante esta técnica de protección se cultivan plantas modificando su entorno natural para prolongar el periodo de recolección, alterar los ciclos convencionales, aumentar el rendimientos y mejorar su calidad, estabilizar la producción y disponer de productos cuando la producción al aire libre se encuentra limitada. El objetivo del cultivo protegido es obtener una producción de alto valor añadido (hortalizas, frutas, flores, ornamentales y plantas de vivero).

El factor determinante más relevante de la actividad productiva hortícola es el clima. Entre las más importantes limitaciones para la producción hortícola cabe citar la falta de radiación solar, temperatura insuficiente o excesiva, exceso o falta de humedad, deficiencia de nutrientes, la presencia de maleza, exceso de viento e inadecuado contenido de dióxido de carbono (o anhídrido carbónico) del aire. La mayor parte de las limitaciones citadas son factores climáticos o directamente relacionados con el clima, que pueden alterarse mediante el cultivo protegido. La falta de agua es la limitación más importante para la producción agrícola. De igual forma, la pérdida provocada por la sequía es similar a la inducida por los demás factores climáticos juntos, incluyendo el exceso de agua, inundación, frío, granizo y viento (Boyer, 1982).

El riego es, sin duda, el medio más antiguo para proteger al cultivo (de la sequía) y ha permitido la agricultura en regiones áridas y desérticas que, sin riego, no serían productivas. Actualmente, el cultivo protegido abarca mucho más allá del simple riego, diversas técnicas de protección de plantas, han alcanzado en el último siglo una enorme importancia, entre el sistema más importante del cultivo protegido destacan los invernaderos (Castilla, 2007).

2.2. Invernadero

Un invernadero es un sistema productivo capaz de proporcionar cosecha fuera de la época normal en la que se producen al aire libre; su objetivo es condicionar los principales elementos del clima entre límites que estén de acuerdo con las exigencias fisiológicas del cultivo, de forma que el sistema resulte económicamente rentable (García *et al.*, 1999).

En la laguna existen 300 Ha de invernadero trabajando actualmente, según confirma el delegado regional de la Secretaría de Agricultura y Ganadería, Ignacio Corona Rodríguez. (La prensa, 2009)

2.3. Tipos de invernaderos

De acuerdo con el autor Aguado da Costa (2012), el tipo de invernadero se clasifica de la siguiente manera:

2.3.1. Por su perfil externo

2.3.1.1. Plano

Este tipo de invernadero se utiliza en zonas poco lluviosas. Los inconvenientes más comunes son:

- Poco volumen de aire.
- Mala ventilación.
- Peligro de hundimiento por las bolsas de agua de lluvia que se forman en la lámina de plástico.
- Goteo de agua de lluvia sobre las plantas.

2.3.1.2. Capilla

El invernadero de capilla tiene el techumbre formando uno, o dos, planos inclinados, según sea a “un agua” o “dos aguas”. Ventajas:

- Fácil construcción y conservación.

- Acepta todo tipo de plástico en la cubierta.
- Ventilación vertical en paredes muy fácil de colocar con grandes superficies.
- Grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia.
- Unión de naves de fácil adosamiento.

2.3.1.3. Doble capilla

Está formado por naves yuxtapuestas. Se ventila mejor por la ventilación cenital en la cumbrera de los dos escalones de la unión de las naves. Tiene una construcción más difícil que los demás, además de ser más caro.

2.3.1.4. Diente de sierra

Está formado por la unión de varias naves a “un agua “. La ventilación de este invernadero es excelente, ya que a la ventilación normal se une la cenital que tiene por los lados de los dientes de sierra. En este invernadero hay que tener previsto la evacuación del agua de lluvia, para evitar que entre toda el agua en el interior del invernadero.

2.3.1.5. Parral

Los inconvenientes que presentan este tipo de invernadero son:

- Peligro de hundimiento por bolsas de agua.
- Ventilación deficiente.
- Instalación de ventanas cenitales deficiente.
- Poco estanco al agua de lluvia y al aire, lo que provoca una elevada humedad y pérdidas de calor en el interior.

Las principales ventajas son:

- Su economía de construcción.
- Gran adaptabilidad a la geometría del terreno.

- Mayor resistencia al viento.
- Aprovecha el agua de lluvia en periodos secos.
- Gran uniformidad luminosa.

2.3.1.6. Túnel o semicilindro

Se caracteriza por su forma de cubierta, y por su estructura totalmente metálica. Ventajas de este tipo de estructura:

- Presenta pocos obstáculos en la estructura.
- La elevada altura facilita la circulación de aire.
- Presenta una buena estanqueidad a la lluvia y aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital.
- Buen reparto de luminosidad.
- Fácil instalación al ser prefabricados.

Inconvenientes:

- Elevado costo.
- No aprovecha el agua de lluvia.

2.3.1.7. Semielíptico

Este invernadero presentan una gran diafanidad, gran volumen de aire, con pocos obstáculos en su interior, y bastante estanqueidad. Bueno en zonas lluviosas.

2.3.2. Por su movilidad

Los invernaderos móviles están pensados para poder cubrir varias superficies de cultivo a lo largo del año, según las necesidades de protección climática y, también, para cambiar el suelo del invernadero a lo largo del tiempo, cambiando

de lugar de instalación. Se suelen utilizar macrotúneles, de fácil instalación y con plásticos de una sola campaña. Según el material de estructura:

- De madera.
- De palos y alambre (parral).
- Metálica (de perfil en ángulo, de tubo circular o cuadrangular, de hierro redondo o cabilla).
- De hormigón.
- Pilares de plástico reciclado.

2.3.3. Según el material de cubierta

- Lámina flexible: PE, Copolímero EVA, PVC, Polipropileno.
- Placa semirrígida: Policarbamato, Poliéster, PVC, Polimetacrilato de metilo.
- Rígido: Cristal

2.4. Factores climáticos al interior de un invernadero

Los factores climáticos tienen una importancia sobre el funcionamiento óptimo de los fenómenos fisiológicos de los vegetales. El desarrollo fisiológico óptimo y equilibrado de los vegetales depende de que esos factores inciden favorablemente sobre ellos.

Algunos de los factores que intervienen en este desarrollo óptimo son los siguientes: luminosidad, temperatura y humedad. De nada sirve que se actúe sobre alguno de ellos si no se hace en su proporción correspondiente con los demás. Si uno de los factores queda sensiblemente reducido, se puede anular el esfuerzo que se haga con los restantes factores fundamentales (Cermeño, 2005).

2.4.1. Luminosidad

La luminosidad en un invernadero es la principal fuente de energía para el crecimiento y desarrollo de la planta. La fracción de la radiación solar que es útil para el proceso de la fotosíntesis es designada como Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), ésta corresponde a lo que es llamado luz: aquel fenómeno que es perceptible por el ojo humano y que comprende el espectro electromagnético de longitud de onda entre 400 nm y 700 nm. La consideración de la radiación solar en el sistema de agricultura protegida es importante para la productividad de un cultivo, por lo tanto, es importante analizar los factores que pueden modificar la calidad y la cantidad de la radiación que llega a las planta (Flores *et al.*, 2012).

2.4.2. Temperatura

Cada función vital del vegetal necesita una temperatura crítica, al estar por encima o por debajo de ella no se realiza la función o se ve dificultada. Cada especie vegetal, en cada momento crítico de su ciclo biológico, necesita una temperatura óptima para su desarrollo normal (Cermeño, 2005). La temperatura es un parámetro importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro del invernadero, ya que influye en el desarrollo y crecimiento de la planta, los sistemas empleados para el control de este parámetro son: sistema de calefacción por aire caliente, sistema de pantallas térmicas, ventilación natural y forzada y refrigeración por evaporación de agua (Huertas, 2007).

2.4.3. Humedad Relativa

El contenido de vapor de agua en el aire interior del invernadero es medido mediante la humedad relativa. No es una variable climática que afecte directamente el crecimiento del cultivo, aunque su control tiene un interés especial. Una humedad relativa elevada favorece la aparición y desarrollo de

enfermedades en la planta, además de disminuir la transpiración, lo que reduce la absorción de agua y nutrientes. Sin embargo, con una humedad baja, la tasa de transpiración crece, lo que puede acarrear estrés hídrico y crear una reducción de fotosíntesis. En base a esto, es necesario mantener la humedad relativa dentro del invernadero (Rodríguez, 2005). Se tiene que considerar que el promedio de humedad relativa indicado por la estación meteorológica en la región Laguna en los últimos 3 meses, ha sido de 38.7 %.(INIFAP, 2014).

2.4.1. Radiación solar

La radiación solar dentro de un invernadero es siempre menor a la que existe en el exterior, fuera de su cubierta; es lógico, si se tiene en cuenta la pérdida por reflexión y absorción del material de cubierta. La radiación que penetra dentro del invernadero, con longitud de onda corta, es tomada por el suelo, los vegetales y cuerpos que hay dentro de la instalación, convirtiéndose en energía térmica, que a su vez, es irradiada en forma de radiación térmica de longitud de onda larga (Cermeño, 2005). Para nivelar directamente, se obtiene midiendo directamente el desnivel en el terreno y para ello se utiliza un nivel. El nivel más común es el rudimentario, también llamados de albañil por estos quienes más utilizan algunos de estos son muy variados. Tenemos el de plomada, regla, manguera, hilo y caballete (Chapingo, 2008).

2.5. Levantamiento topográfico

Se define como tal el conjunto de operaciones ejecutadas sobre un terreno con los instrumentos adecuados para poder confeccionar una correcta representación gráfica o plano. Este plano resulta esencial para situar correctamente cualquier obra que se desee llevar a cabo, así como para elaborar cualquier proyecto técnico (Franquet y Querol, 2010).

2.6. El riego

En la agricultura tecnificada, donde se incluye a los invernaderos, el suministro de agua es fundamental para lograr el aseguramiento de niveles de productividad más adecuados y por ende, un incremento en el rendimiento o producción. El riego proporciona a la planta el agua necesaria para su crecimiento y desarrollo. Dada la escasez de agua, es conveniente para la planta pero también para la protección del medio ambiente, que el riego se aplique con la mayor eficiencia (Lugo *et al.*, 2011).

Una forma sencilla de mejorar la productividad es proporcionar suministro de agua en proporción correcta. Al ser el invernadero un espacio cerrado, el sistema de riego tiene gran influencia sobre el clima interno, de tal modo que puede constituir uno de los métodos de regulación de la humedad del aire y temperatura del suelo. Por todo ello merecen una especial atención tanto el proceso de selección, como el manejo del sistema de riego, ya que la elección de un sistema de este tipo no se basa únicamente en criterios técnicos o sociales, sino también en criterios económicos y las condiciones exteriores a la explotación, como el suministro de agua, disponibilidad de materiales, etc. (Martínez y Rivera, 2011).

El consumo de agua en invernaderos se estima, aproximadamente, en un m^3/m^2 por año. Esta cifra incluye el agua requerida por la planta para cubrir sus necesidades fisiológicas y un porcentaje de agua en exceso (20-30%) para el lavado de sales de suelo o sustrato. Las variables fundamentales de calidad del agua de riego son: su acidez o alcalinidad (valorada por su pH), contenido total de sales (medido por la conductividad eléctrica CE), contenido en sodio y cloruros, presencia de metales pesados y concentración de microorganismos (Rodríguez *et al.*, 1996).

2.6.1. Datos de tecnificación en La Laguna

El consumo del agua superficial se encuentra en función de los niveles de almacenamiento que se tenga en las presas al finalizar la temporada de lluvias de cada año; se llegan a sembrar hasta 70 mil hectáreas cuando se cuenta con una buena precipitación. Dentro del Programa de Modernización y Tecnificación de Unidades de Riego, se tiene una superficie tecnificada de 11 mil 543 hectáreas, que representan el 16 por ciento de la superficie de las Unidades de Riego. En lo que respecta a la Rehabilitación y Modernización de la Red Concesionada del Distrito de Riego 017, se cuenta con una superficie de 23 mil 812 hectáreas tecnificadas, que representan el 25 por ciento de la superficie con derecho de riego (Canedo, 2013).

2.7. Clasificación de sistemas de riego

En lo referente a la tecnificación del riego, es muy importante la correcta aplicación al cultivo. Existen sistemas básicos de riego:

- Riego de superficie, que cubre toda o casi toda la superficie cultivada. Opera por gravedad, frecuentemente mediante un sistema de compuertas.
- Riego por surcos, el cual el agua se traslada por gravedad por pequeñas zanjas o surcos formados entre las hileras del cultivo.
- Riego por bordes, utiliza diques paralelos que guían una lámina de agua en movimiento a medida que desciende por la pendiente.
- Riego por aspersión, cuyo funcionamiento imita a la lluvia. Su distribución puede ser lineal o en pivote central.
- Riego por goteo, que aplica el agua gota a gota solamente sobre el suelo que afecta a la zona radicular (Espino del Pozo *et al.*, 2011).

En la **Tabla 2.1** se observa que la eficiencia de selección del método nos brindará la eficacia agronómica; sus componentes han sido expresados en fracción decimal y puede verse que los valores se ordenan de menor a mayor a medida que se tecnifica el método de riego. (Gurovich, 1985).

Tabla 2.1. Métodos de riego.

Método de riego	Eficiencia aplicación	Eficiencia almacenamiento	Eficiencia distribución	Eficiencia Agronómica
Superficie	0.40 %	0.85 %	0.60 %	0.20 %
Surcos	0.55 %	0.85 %	0.75 %	0.35 %
Bordes	0.60 %	0.90 %	0.70 %	0.38 %
Aspersión	0.90 %	1.00 %	0.85 %	0.76 %
Goteo	0.95 %	1.00 %	0.90 %	0.86 %

Se observa en la tabla, el método de riego por goteo es sin duda el más eficiente al compararlo con otros métodos en cuestión técnica. Por otra parte, dadas las características de alta intensidad de trabajo que requieren los cultivos en invernadero, un sistema de riego superficial, como surcos, limita seriamente la posibilidad de ingreso al invernadero con posterioridad a un riego. No sucede lo mismo con un riego localizado, como goteo, diseñado para evitar dicha restricción (Osorio y Alfaro, 1996) y facilitar la dosificación (Rodríguez, 2003).

El riego por goteo puede reducir el uso de agua. Un sistema de riego por goteo bien diseñado pierde muy poca agua porque hay poco escurrimiento, evaporación o percolación profunda en suelo limoso. Con el riego por goteo hay menos contacto del agua con el follaje, los tallos y los frutos. Por eso, las condiciones son menos favorables para el desarrollo de enfermedades en las plantas. Con un buen programa de riego (goteo, aspersión, micro-aspersión, Pivote central, etc. Dependiendo el cultivo y el capital disponible) que cubre las

necesidades de las plantas, es posible aumentar el rendimiento y la calidad de la cosecha. Los agricultores y profesionales a menudo hablan del “riego por goteo subsuperficial”. Si la manguera o cinta de riego está instalada bajo la superficie del suelo, hay menos riesgo de que sea dañado debido a la radiación UV o las operaciones de labranza o eliminación de maleza. Con el RGS, se maximiza la eficiencia del riego porque hay poco escurrimiento y evaporación. El riego por goteo es útil si el agua es escasa o costosa. Con menos evaporación, escurrimiento y percolación profunda, y con mayor uniformidad de aplicación, no es necesario aplicar un exceso de agua a ciertas áreas del campo para asegurar que otras reciban suficiente agua y se puede automatizar este tipo de sistema (Sholck y Welch, 2013).

2.8. Componentes principales de un sistema de riego por goteo

Todos los elementos que pueden entrar a formar parte del equipo necesario de un sistema de riego por goteo, son los siguientes: fuente de agua, unidad de bombeo, cabezal de abastecimiento y regulación y red de tuberías para la conducción, distribución y aplicación del agua, con sus respectivos accesorios. El cabezal, a su vez, puede estar constituido por los siguientes componentes, de acuerdo con las características del agua, topografía, tamaño del sistema y facilidades de inspección que quieran adoptarse: válvula de retención, filtros, equipo clorinador y manómetros. Todos los elementos se describen a continuación Gómez, (2011):

2.8.1. Fuente de agua

El agua para el riego por goteo puede tener cualquier origen (rio, estanque, pozo excavado o pozo profundo). Lo importante es que el agua esté libre de sólidos en suspensión, que tenga una baja concentración de bacterias y que su concentración de sales este dentro de los límites de tolerancia aceptables para el riego por goteo (Gómez, 2011).

2.8.2. Unidad de bombeo

Constituida generalmente por una bomba centrífuga, accionada por un motor eléctrico o de combustión interna. El tamaño de la unidad estará determinado por la carga total necesaria para la conducción y distribución del agua y gasto total requerido para regar el área beneficiada en el tiempo disponible (Medina, 1985).

2.8.3. Cabezal de abastecimiento y regulación

Es el conjunto de elementos que dominan toda la instalación y sirve para proveer presión y caudal al sistema, filtrar el agua, inyectar fertilizantes, medir volúmenes, etc. Los componentes principales se describen a continuación (Liotta, 2004):

2.7.3.1. Filtro de malla

El filtro es necesario para reducir el riesgo de obstrucción de los goteros debido a las partículas sólidas y/o materia orgánica suspendida en el agua. El filtro de malla (**Fig 2.1**), se usa principalmente para material sólido transportado en el agua de riego, incluso partículas no disueltas de abono usado en la fertirrigación. Estos filtros pueden tener una malla única o doble, una es para material grueso y la otra, para partículas más finas. La dimensión de las aberturas de la malla está condicionada por la susceptibilidad de los emisores a la obstrucción, y debe ser recomendada por sus fabricantes. El agua a filtrar circula del interior al exterior y, para el lavado, circula del exterior al interior y se drena por una válvula que se abre cuando está en operación, de corta duración, se produce (Santos, 2010).

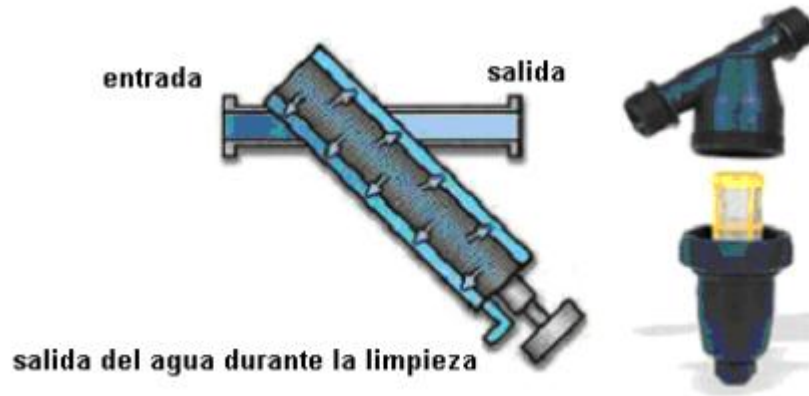


Figura 2.1. Esquema y ejemplo de un filtro de malla (Santos, 2010).

2.7.3.2. Manómetro

Este aparato nos ayuda a medir la presión en diferentes puntos del sistema y con eso poder controlar mejor el buen funcionamiento. El manómetro más utilizado es el de glicerina, pues brinda una buena precisión, y viene graduado en diferentes rangos. Los rangos más utilizados son: 0-30 PSI que se utiliza para medir presión en la cinta de goteo, 0-100 PSI, 0-160 PSI y 0-200 PSI son otros manómetros (Briceño *et al.*, 2012).

2.7.3.3. Unidad de fertilización

Esta unidad es la responsable de la aplicación del fertilizante soluble y otros productos en la red de riego. Existen varios métodos para aplicar el abono al agua pero el más utilizado es el inyector Venturi, que utiliza la presión del agua en la red de cañerías, por succión positiva en el chupador de la bomba, por uso de bombas auxiliares y finalmente a través de estanques herméticos (Torres y Lerins, 2011).

2.7.4. Red de conducción y distribución

El conjunto de tuberías constituyen una red de distribución que conducen el agua desde el cabezal de riego hasta los emisores o puntos de emisión. Normalmente, en las plantaciones no se riega toda la superficie a la vez, sino que la explotación se divide en sectores o unidades de riego según distintos criterios la Fig. 2.1(Salazar, 2013).

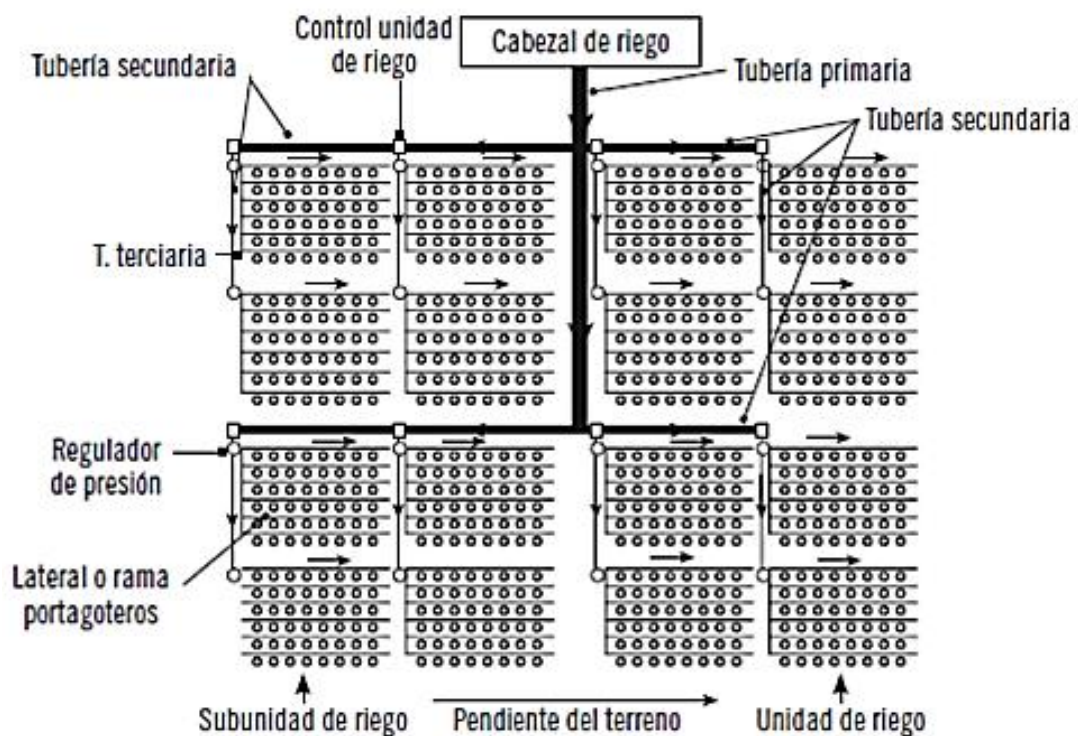


Figura 2.2. Diseño básico de un sistema de riego por goteo.

Partiendo del cabezal y formando un entramado en todo el invernadero, las tuberías distribuyen el agua hasta los emisores. Las tuberías se van bifurcando desde el cabezal de riego, hasta llegar a los emisores o goteros. Los distintos nombres que reciben las tuberías vienen por el rango de ramificación:

- Primaria o principal: Tubería que parte del cabezal de riego, llevando el agua desde este hasta las distintas bifurcaciones.
- Secundarias. Aquellas tuberías que nacen de la primaria.
- Terciarias. Nacen de las secundarias y llevan el agua desde estas hasta los ramales.
- Laterales o ramales. Último eslabón de la cadena, llevan el agua hasta los goteros (Vaquero, 2007).

Las tuberías para instalación de riego por goteo son en su mayoría de PVC y polietileno; también, últimamente, de polopropileno y polibutileno. En grandes instalaciones se recurre al fibrocemento solo para la red principal y, ocasionalmente para tramos muy cortos, al hierro galvanizado, aunque debiera evitarse siempre que sea posible, por su fácil corrosión. De los materiales indicados, el fibrocemento es el más barato para grandes diámetros, en particular mayores de 150 a 200 mm. Sin embargo es un material más pesado y la conexión de los distintos tramos es más laboriosa que la de PVC y polietileno, por lo que el metro lineal instalado no suele ser mucho más barato que el de los otros materiales. El PVC es rígido y más barato que el polietileno para diámetros de 50 mm y superiores. Por último, el polietileno es flexible y constituye el material más económico para diámetros inferiores a 50mm, por lo que siempre se utilizara en la red terciaria y ramales de riego (Osorio y Alfaro, 1996).

2.8.5. Goteros o emisores

Se denomina emisor a los dispositivos que controlan la salida del agua de las tuberías laterales. De una u otra forma, se insertan en el ramal de riego causando una pérdida de presión de tal forma que se descargue un pequeño volumen de agua. Ambas condiciones conducen a emisores en los que el paso del

agua sea pequeño. Sin embargo, esto está en contradicción con el objetivo de evitar atascamientos, lo que se consigue con el mayor diámetro de paso posible. Esta contradicción es resuelta de forma muy variada, por lo que existen en el mercado muchos tipos de emisores. Los tipos de goteros se clasifican en:

- Microtubo. Consiste en un tubo de pequeño diámetro y longitud variable que se inserta en las tuberías de polietileno. Trabajan en régimen laminar. Modificando su longitud, se puede cambiar el caudal.
- Helicoidal. Es un gotero compacto en el que el agua sigue un recorrido helicoidal. Trabajan en un régimen intermedio entre laminar y turbulento.
- De laberinto. En estos goteros, el agua sigue una trayectoria tortuosa, lo que les hace trabajar en régimen turbulento.
- Vortéx. Son goteros de orificio en los que el agua, después de atravesar una perforación, se ve obligada a circular por una cámara donde entra tangencialmente, originando un flujo vortical.
- Gotero autocompensable. Estos goteros llevan un elemento flexible que se deforma bajo la acción de la diferencia de presión del agua antes y después del elemento, manteniendo el caudal aproximadamente constante, aunque varíe la presión de entrada dentro de un determinado rango de presiones, al que se denomina intervalo de compensación, efectúa una cierta auto limpieza, pues al terminar el riego disminuye la presión y el elemento flexible se separa ligeramente, aumentando el tamaño del paso del agua, lo que puede permitir el paso de las partículas acumuladas.

Según el modo de inserción del gotero en la tubería, distinguimos:

- Goteros interlinea. Se instalan cortando la tubería transversalmente e insertando el gotero en la misma. El agua circula por el interior del gotero, que forma parte de la conducción, por lo que existen modelos adecuados a los distintos diámetros de tubería.

- Goteros pinchados o de orificio. Se instalan sobre la tubería en un orificio practicado previamente en la misma con un sacabocados. El mismo modelo de gotero puede ser insertado en tuberías de distintos diámetros.
- Goteros integrados. Se implantan directamente en el ramal durante el proceso de fabricación de la misma, con distintos espaciamientos (Oblaré, 2011).

2.8.6. Elementos para el diseño

Para el fin de diseñar un sistema de riego por goteo, es necesario determinar algunos elementos básicos que permitan su dimensionamiento de acuerdo con las condiciones climáticas, características del suelo y naturaleza del cultivo. Esos elementos se refieren al consumo de agua, área de influencia, lámina de reposición, frecuencia de riego, duración del riego y número de goteros. La relación de área humedecida, unidades de riego y el gasto total del sistema. De aquí, se derivaran los elementos indispensables para el diseño hidráulico del sistema (Medina, 1985).

2.8.7. Diseño hidráulico

Con el diseño hidráulico, se busca el dimensionamiento más económico y eficiente del sistema y de cada uno de sus componentes. Se debe seleccionar el número, el espaciamiento y la capacidad de los emisores: el diámetro de las tuberías laterales o regantes y el diámetro de la tubería principal y de las tuberías auxiliares o secundarias necesarias (Medina, 1985).

2.7.8. Nebulización

La nebulización es un sistema de regulación climática que se usa en los invernaderos para evitar, en la medida de lo posible, la elevada temperatura y escasa humedad que, a veces, se produce en los invernáculos. Es por lo que este

sistema de relación climática resulta muy interesante para resolver los problemas de alta temperatura y/o baja humedad que nos encontramos durante determinadas épocas en los invernaderos. El manejo de la nebulización debe ser cuidadoso, puesto que su uso incorrecto puede causar más problemas que beneficios. Si el manejo de la nebulización provoca mojado de la planta (hecho que ocurre en muchas ocasiones) los problemas pueden ser graves (Gómez, 2001).

2.9. Drenaje Agrícola

El drenaje agrícola tiene como objetivo evitar y desalojar el exceso de humedad de las tierras de cultivo. Este puede ser superficial y subterráneo, tomando en cuenta que el control del agua superficial y subterránea son dos prácticas indispensables para lograr alto rendimiento (Mirafuentes *et al.*, 2006). El drenaje superficial son obras que se realizan sobre la superficie del terreno, para propiciar el escurrimiento por gravedad de los excesos de agua a velocidades no erosivas y que tampoco cause problemas de sedimentación, así como para interceptar y desviar el agua que se dirige hacia la parcela desde terrenos colindantes más altos, mientras que el drenaje subterráneo consiste de obras que se construyen bajo la superficie del suelo, para captar y desalojar excesos de agua derivados de filtraciones o de niveles freáticos elevados (Palacios, 2002).

2.10. Automatización

La automatización consiste en incorporar un proceso, un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento. Sus objetivos la reducción de costos de fabricación, calidad constante en los medios de producción, y liberar al ser humano de las tareas tediosas, peligrosas e insalubres (García, 1999).

2.11. Tipos de control

En la gestión del riego es fundamental determinar el momento más adecuado para regar y cantidad de agua a aplicar. Los sistemas de control del riego son herramientas que permiten suministrar el agua al cultivo en cantidad y frecuencia adecuadas, optimizando los recursos hídricos y evitando situaciones de estrés para el cultivo. Este control influye de forma significativa en los costos y consumo de agua (Molina y Ruiz, 2009).

2.11.1. Control On-Off

En la regulación todo-nada la válvula de control adopta únicamente dos posiciones abierta o cerrada (Creus, 2005). Este método principalmente es económico y sencillo.

2.11.2. Control proporcional

Amplifica o atenúa el error de regulación a través de una ganancia de proporcionalidad, k_p (Angulo *et al.*, 2004).

2.11.3. Control proporcional- integral

Sustituye el controlador proporcional para eliminar el offset, siempre y cuando el sistema de control sea estable (Creus, 2005).

2.11.4. Control PID

El control PID reúne las tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). La acción proporcional estabiliza la oscilación natural de la variable controlada. Elimina además el grado de inestabilidad introducido por las acciones

integral y derivativa. La acción integral proporciona una corrección o reajuste para compensar la variación de carga y mantener la variable controlada sobre el punto de consigna; la acción derivativa anticipa el efecto de la proporcional con el fin de estabilizar más rápidamente la variable controlada después de cualquier cambio en el proceso (Acedo, 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del sitio experimental

El sitio en el que se llevó a cabo el diseño del sistema de riego, se localiza en el sector privado “Las Trojes” ubicado sobre la antigua carretera San Pedro, en las coordenadas $25^{\circ} 25' 31.60''$ N y $103^{\circ} 22' 39.84''$ O, (**Figura 3.1**) en la ciudad de Torreón, Coahuila. Éste municipio cuenta con un territorio de $1,255.98 \text{ km}^2$ y se localiza entre los paralelos $25^{\circ} 42'$ y $24^{\circ} 48'$ de latitud norte; los meridianos $103^{\circ} 31'$ y $102^{\circ} 58'$ de longitud oeste; y altitud promedio de 1200 m . El municipio cuenta con un clima muy seco semi-cálido (89%) y seco templado (11%) (Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, 2009). El cual cuenta con una precipitación anual promedio de 251.4 mm (Servicio Meteorológico Nacional, 2014).



Figura 3.1. Ubicación geográfica del sitio experimental (Google earth, 2013).

3.2. Metodología experimental

3.2.1. Levantamiento planímetro

Para el diseño del sistema de riego se efectuó un levantamiento planímetro, utilizando un flexómetro, posteriormente se vaciaron los datos levantados al programa AutoCAD, y se realizó el plano.

3.2.2. Método de irrigación

El método seleccionado para la realización del proyecto, fue el de riego por goteo debido a que presenta mayores beneficios (como se describe en la literatura), como lo son: precisión de la distribución de agua, menor gasto de agua, ahorro en gasto de agua (comparado con otros métodos de riego, como inundación, riego por surco y aspersion).

La instalación se dividió en 2 secciones, porque en la sección "A" los cultivos se sembrarán en el suelo, y se facilita el uso de cintilla. En la sección "B" serán macetas, por lo tanto se usarán goteros independientes para usar mejor distribución del agua dentro de la maceta.

El método de goteo se separó en 2 secciones, en la cual la sección A está compuesta por: cintilla calibre 6000 con un gasto de 0.6 lts/hr con separación entre gotero de 15 cm. Y la sección B compuesta por goteros de la marca "PALAPLAST" con un gasto de 8 lts/hr con los implementos: manguera negra 1655000, tubin 4/7, estaca dripeg.

3.2.3. Método de control de humedad

Para el control de humedad en el invernadero se seleccionó la instalación de nebulizadores, con las características siguientes: nebulizador tornado COM 23 l/h. y los implementos para su instalación fueron: Tubin 4/7, antigoteo BP negro INS-COLT (RM-33/8) 4/7 mm, conector 4/7 mm INS-COM. La nebulización se separó en 2 secciones iguales, "C" y "D".

3.2.4. Diseño hidráulico

Las fórmulas seleccionadas para los cálculos del diseño hidráulico, se describen a continuación:

3.2.4.1. Pérdida de carga localizada

- Ecuación de Darcy-Weisbach

$$H_f = f * \left(\frac{L}{D}\right) \left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

Dónde:

H_f: pérdida de carga (mts)

f: es un factor adimensional de fricción

L: longitud del conducto(m)

D: diámetro interno del tubo (m)

V: velocidad promedio del fluido (m/s)

g: aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)

$$f = \frac{0.32}{Re^{0.25}}$$

Dónde:

f: factor de fricción, adimensional

Re: número de Reynolds, adimensional

$$Re = K \frac{Q}{D}$$

Dónde:

K: es una constante, 1.26 x 10⁶ para agua a 20deg.C,

D: diámetro interno (mm)

Q: caudal (L/s)

- Hazen-Williams

$$H = 10.674 * [Q^{1.852} / (C^{1.852} * D^{4.871})] * L$$

Dónde:

h: pérdida de carga o de energía (m)

Q: caudal (m³/s)

C: coeficiente de rugosidad (adimensional)

D: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud de la tubería (m)

- Pérdida de carga en singularidades

$$h = K * (V^2 / 2g)$$

h: pérdida de carga o de energía (m)

K: coeficiente empírico (adimensional)

v: velocidad media del flujo (m/s)

3.2.5. Instalación drenaje

Para su diseño hidráulico se utilizó la fórmula de CHÉZY:

$$V(h) = C \sqrt{R(h) * S}$$

Dónde:

V (h): velocidad media del agua en m/s.

C: coeficiente de rugosidad.

R (h): radio hidráulico, en m, función del tirante hidráulico h.

S: pendiente de la línea de agua en m/m.

Se inició marcando la pendiente del área a instalar por medio del método de nivelación con manguera. El área a nivelar era pequeña, por eso la selección de este método, sin mencionar su confiabilidad de precisar el nivel y su pendiente.

Este método consiste en comparar con unas estacas (anteriormente graduadas, o marcadas) con el nivel de agua contenida en una manguera transparente. Así, según las estacas comparado con la altura del agua según la manguera se sabe la dirección de la pendiente.

En el método se utilizaron los siguientes materiales: Manguera transparente 8 m, 8 estacas de 0.4 m graduadas cada una a 0.01m, un rollo de hilaza, un martillo (para enterrar la estaca) y un marcador (para señalar el nivel que marca la manguera). Terminando de nivelar se realizaron 3 pequeños surcos con la única finalidad de guiar el tubo para drenaje. Se ranuró el tubo, seguido a esto, se envolvió en malla metálica y se instaló a una distancia de 1.3 m cada uno. Al final se fijó un recolector con el objetivo de expulsar el agua fuera del terreno a sembrar. El material usado para lo antes descrito fue el siguiente: tubo PVC RD-26 de 1", coples de reparación PVC a cementar de 1", codo PVC a cementar de 1", "TEE" de PVC a cementar de 1", malla de aluminio, esmeril (para ranurar el tubo), alambre (para ajustar la malla al tubo) y cemento para PVC.

3.2. Instalación de tinaco.

La instalación del tinaco fue con el fin de satisfacer al invernadero por un tiempo en caso de que el proveedor principal de agua falle, con el beneficio adicional que proporciona carga positiva a la bomba del invernadero. El tinaco tiene una capacidad de 5 mts³. Los materiales para la instalación del invernadero fueron: Un tinaco de 5 mts³, válvula flotador, válvula para tinaco rotoplas de 1", 5 mts de tubería PVS RD-26 de 3/4", 2.4 mts de tubería PVC RD-26 de 1", 2 codos PVC de 3/4", 1 adaptador PVC cemento-rosca hembra 3/4", válvula esférica 3/4", 1 adaptador PVC cemento-rosca hembra 1", codo 45° PVC 1".



Figura 3.2. Válvula para tinaco de 1".

3.2.6. Instalación riego

En la instalación de las tuberías, se procedió de la siguiente manera:

De acuerdo al diseño hidráulico, se definió la longitud de tubería a usar, así como el número de codos, "TEE" y válvulas. Después de la instalación de la tubería, se procedió a instalar el riego por goteo de la forma siguiente:

Se comenzó perforando la tubería de la primer sección “A” de riego, a una distancia de 0.3 m cada perforación de $\frac{1}{2}$ ” para insertar las gomas a las que se les implemento una inicial que se encuentra conectada a una válvula de 16x 16mm mediante una manguera; dicha válvula posee un adaptador rosca para colocar la cintilla. Al final de la cintilla, se colocó la misma válvula para sellar la misma, con la intención de purgar la cintilla con facilidad.

En la sección “B” de riego se perforó la tubería haciendo orificios de $\frac{1}{2}$ ” a una distancia de 0.7 m, para insertar las gomas a las que se les implemento una inicial que está conectada a una válvula de 16x 16mm mediante una manguera; al otro extremo de esta válvula se conectó una manguera con un diámetro interno de 16mm, que será la línea conductora hacia los goteros. Los goteros se insertaron en la manguera a una distancia de 0.7 m, y cada gotero tuvo un adaptador con 4 salidas, cada una de estas salidas poseen un tubin que fue implementado a una estaca que dirigió el riego a su destino.



Figura 3.3.Goma para inicial (lado izquierdo) e inicial (lado derecho).



Figura 3.4. Inicial con válvula, armada para cintilla (sección "A").



Figura 3.5. Inicial con válvula, armada para manguera (sección "B").



Figura 3.6.Partes de riego por goteo (sección “B”).

La sección “C” Y “D” están complementadas cada una por una manguera de $\frac{1}{2}$ ” a la que se le inserto un adaptador para tubin de 4/7mm, con un contrapeso (para evitar el juego de la manguera) y un antigoteo BP NEGRO INS-COLT (RM-3/4) 4/7 mm, que se conectó al nebulizador tornado COM.

3.2.6.1. Bomba

La selección de bomba se llevó a cabo tomando en cuenta el caudal necesario para satisfacer cada uno de los sistemas diseñados.

3.2.6.2. Cabezal

Primeramente se colocó una válvula (llave de paso) para controlar el flujo en caso de una reparación al cabezal; después se prosiguió a instalar el filtro de

agua seguido por un Venturi, posteriormente, se instalaron las válvulas solenoides que darán la automatización a las diferentes secciones de riego.

3.2.7. Excavación

Una vez establecido el diseño hidráulico, se procedió a la excavación del terreno para otorgar pendiente a la tubería que posteriormente será usada como drenaje, con una pendiente de 0.0038%. De igual forma se realizó una zanja para dirigir 2 metros de tubería del tinaco hacia la bomba.

3.2.8. Automatización

En la automatización se utilizó un programador “Rain Bird E-4c” con una versatilidad de cuatro secciones, las cuales, se le conectaron cuatro electroválvulas con un cable de cobre calibre 14. Para programar los intervalos de riego, fue en base al manual del equipo.



Figura 3.7.Programador Rain bird.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diseño hidráulico

Los resultados matemáticos para el diseño hidráulico fueron los siguientes:

$$Q = 0.08695 \text{ m}^3$$

$$C = 140$$

$$D = 0.0254 \text{ m}$$

$$L=23.08.05 \text{ m}$$

- Hazen williams

$$H = 10.674 * [Q^{1.852} / (C^{1.852} * D^{4.871})] * L$$

$$H = 10.674 * [0.08695^{1.852} / (140^{1.852} * 0.0254^{4.871})] * 23.08$$

$$H = 10.674 * (6.7759 \times 10^{-7}) * 23.08$$

$$H = 1.6692 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{min}$$

- Darcy Weisbach

$$H_f = f * \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Número de Reynolds

$$Re = K \frac{Q}{D}$$

$$Re = 1.26 \times 10^6 \frac{1.433}{0.0254}$$

$$\text{Re} = 71,085,826.77$$

Factor adimensional de fricción

$$f = \frac{0.32}{\text{Re}^{0.25}}$$

$$f = \frac{0.32}{71,085,826.77^{0.25}}$$

$$f = 3.4850 \times 10^{-3}$$

$$H_f = 3.4850 \times 10^{-3} \left(\frac{23.08}{0.0254} \right) \left(\frac{(0.18)^2}{2(9.81)} \right)$$

$$H_f = 3.4850 \times 10^{-3} (908.6614) (1.6513 \times 10^{-3})$$

$$H_f = 5.2291 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$$

4.1.1. Diseño digitalizado

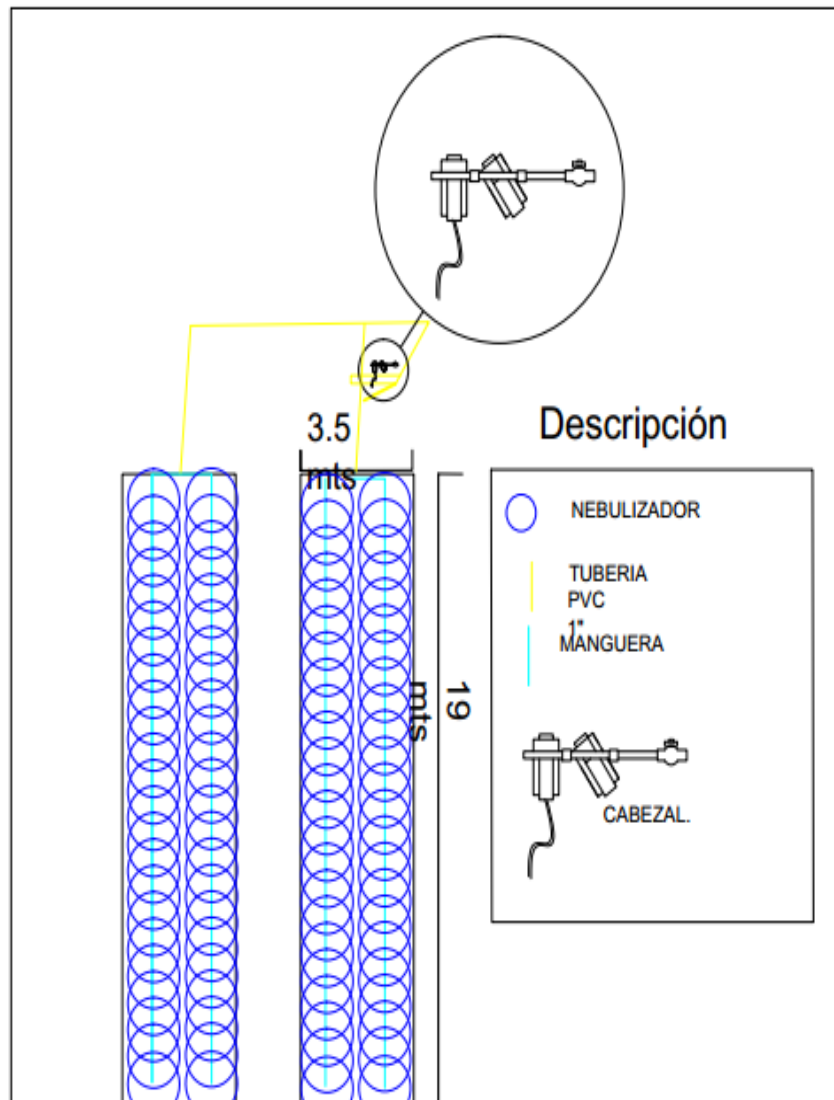


Figura 4.1. Diseño del riego por goteo.

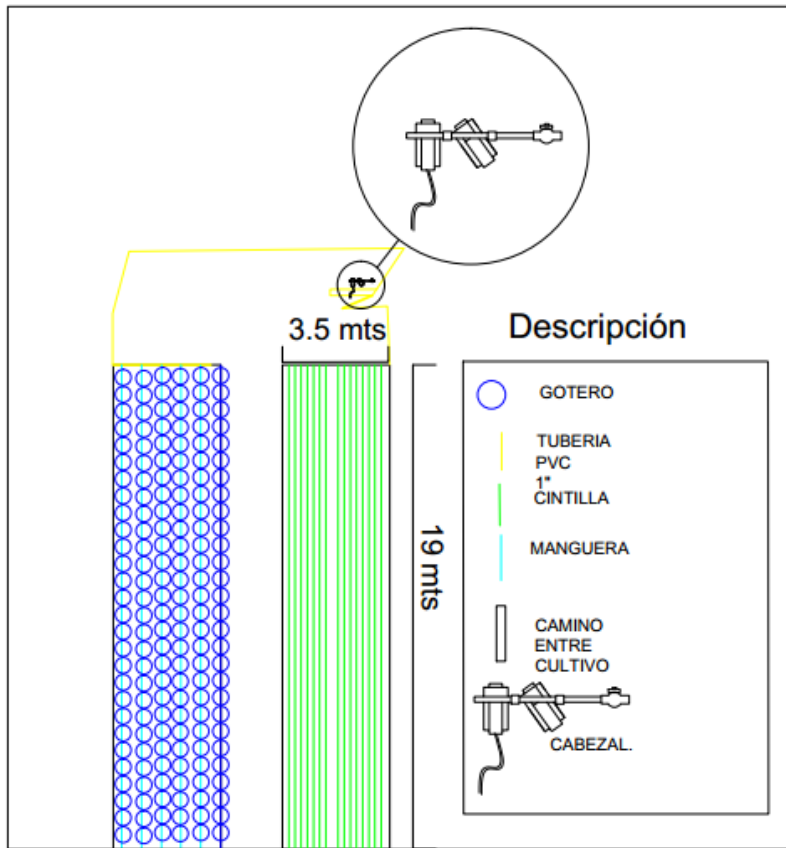


Figura 4.2. Diseño de nebulización.

4.2. Eficiencia de bomba

La bomba para abastecer el sistema fue de la marca Rotoplas con una potencia de ½ hp. Se presentan a continuación los cálculos realizados en Excel para demostrar la eficiencia de abastecimiento:

Tabla 4.1.Sección “A” de goteros independientes

No. Goteros	122	
Líneas de cintilla	15	
Total goteros	1830	
Q por gotero	0.6	Lts
Q TOTAL	1098	Hora
Q TOTAL	18.3	Minuto

Tabla 4.2.Sección “B” de goteros independientes.

No. Goteros	27	
Líneas de cintilla	6	
Total goteros	162	
Q por gotero	8	Lts
Q TOTAL	1296	Hora
Q TOTAL	21.6	Minuto

Tabla 4.3.Sección “C” y “D” de nebulizadores.

No. Nebulizadores	23	
Líneas de cintilla	4	
Total goteros	92	
Q por gotero	23	Lts
Q TOTAL	2116	hora
Q TOTAL	35.2666667	minuto

Tabla 4.4.Suma de gastos totales contra la capacidad de la bomba.

SECCION	Q LTS/MIN.	Q Its/min. Bomba
"A"	18.3	
"B"	26.5	
"C" y "D"	35.26	
Total Q	80.06	86.95

Tabla 4.5.Aforo de la bomba.

No aforos	Vol. Lts	Tiempo (Segundos)	Q en 1 seg.	Q por min.
1	20	14		
2	20	13.48		
3	20	13.92		
Promedio	20	13.8	1.44927536	86.9565217

4.3. Formula desarrollada del dren

$$V(h) = C \sqrt{R(h)} * S$$

$$V(h) = C \sqrt{R(h)} * S$$

$$V(h) = 0.009 \sqrt{(0.0254)} * (0.0038)$$

$$V(h) = 8.8420 * 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$V(s) = 0.0884 \text{ lts/s}$$

$$Q = A * V$$

$$Q = 0.0506 * 8.8420 \times 10^{-5}$$

$$Q = 4.4803 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$$

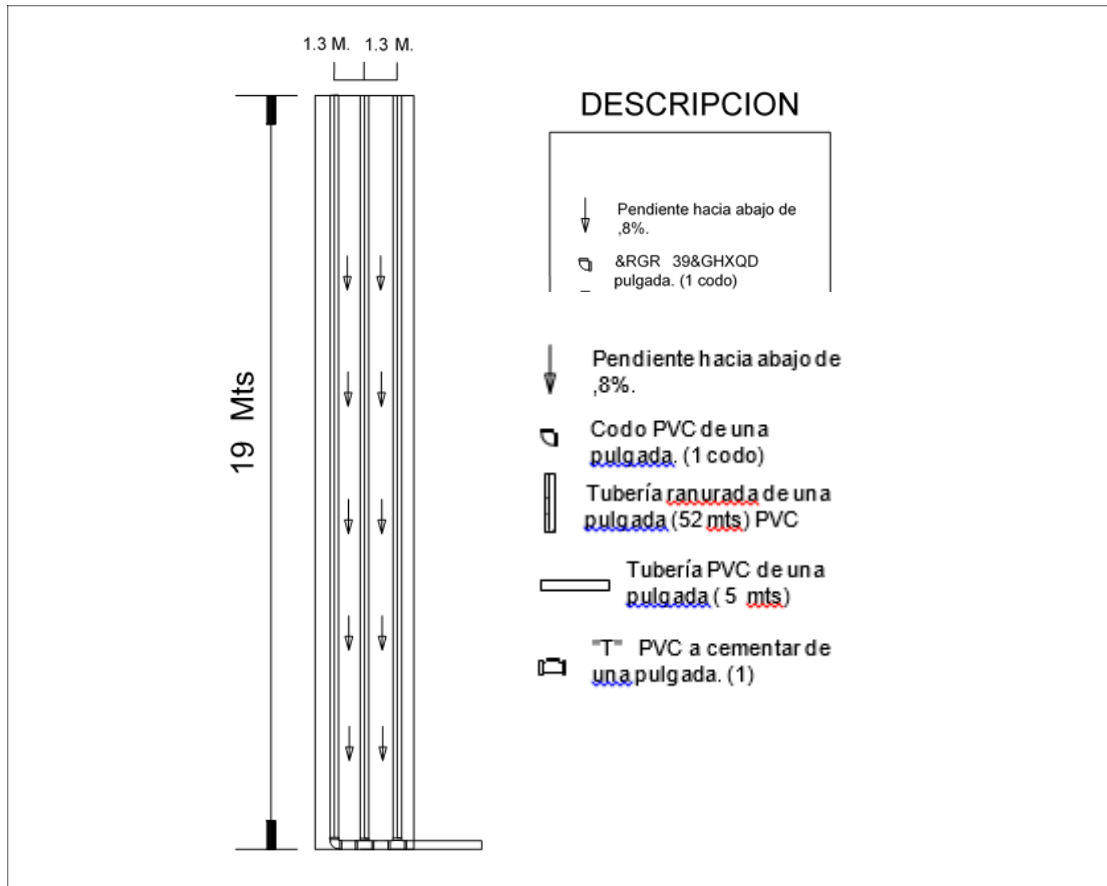


Figura 4.3. Diseño del dren.

4.3. Funcionalidad de dren

Se puso en marcha la sección "A" donde está situado el dren, al poco tiempo empezó a drenar el exceso de agua por el tubo de salida, que está situado a la salida del invernadero.



Figura 4.4. Salida de drenaje.

4.4. Uniformidad de riego

Para evaluar la uniformidad del riego, cintilla y goteros, se llevó a cabo un aforo. En el caso de la cintilla se aforo en todas las líneas (tendidas) de cintilla, pero no en todos los emisores. Se colocaron estratégicamente los vasos a lo largo de la línea regante por un tiempo 10 minutos. Al terminar el tiempo se tomaron los vasos y se comparó el gasto de los emisores, vaciando el agua acumulada en una probeta graduada. La sección "A" tiene un total de 15 tendidas de cintilla, y cada línea tiene 122 pastillas emisoras. se colocaron 8 vasos aforadores por línea, comenzando del segundo emisor. En total fueron 120 muestras por toda la sección.



Figura 4.5. Iniciales para cintilla.



Figura 4.6. Aforo de cintilla.



Figura 4.7.Aforo de cintilla.

Tabla 4.6. Datos Aforo de las 120 cintillas.

A	Q (ml)	B	Q (ml)	C	Q (ml)	D	Q (ml)	E	Q (ml)
1	98	1	99	1	97	1	98	1	99
2	98	2	98	2	98	2	98	2	98
3	97	3	98	3	98	3	97	3	98
4	98	4	97	4	97	4	97	4	97
5	96	5	98	5	98	5	98	5	96
6	97	6	96	6	97	6	96	6	97
7	96	7	97	7	96	7	96	7	96
8	97	8	97	8	96	8	96	8	96
Media	97.125	Media	97.5	Media	97.125	Media	97	Media	97.125
F	Q (ml)	G	Q (ml)	H	Q (ml)	I	Q (ml)	J	Q (ml)
1	98	1	99	1	98	1	98	1	98
2	98	2	98	2	98	2	97	2	98
3	97	3	98	3	97	3	97	3	97
4	98	4	97	4	98	4	98	4	98
5	97	5	96	5	97	5	97	5	97
6	96	6	97	6	97	6	96	6	96
7	97	7	96	7	96	7	96	7	97
8	96	8	96	8	97	8	96	8	96
Media	97.125	Media	97.125	Media	97.25	Media	96.875	Media	97.125
K	Q (ml)	L	Q (ml)	M	Q (ml)	N	Q (ml)	O	Q (ml)
1	98	1	98	1	98	1	97	1	98
2	98	2	98	2	97	2	97	2	97
3	97	3	97	3	97	3	98	3	97
4	97	4	98	4	98	4	96	4	98
5	98	5	97	5	97	5	97	5	97
6	96	6	96	6	96	6	97	6	96
7	97	7	96	7	96	7	96	7	96
8	96	8	96	8	96	8	96	8	95
Media	97.125	Media	97	Media	96.875	Media	96.75	Media	96.75

La grafica muestra el descenso de gasto de la primer tendida que es la mas cercana a la fuente de abastecimiento, hasta la ultima tendida, que es la mas lejana de la fuente de abastecimiento.

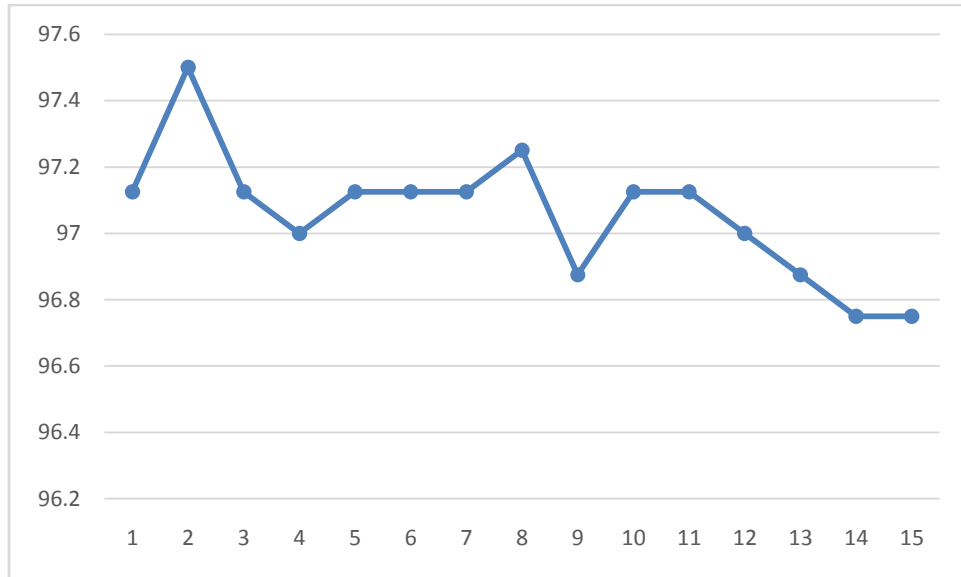


Figura4.8.Gráfica de Q en las cintillas.



Figura 4.9. Cintilla instalada.



Figura 4.10. Funcionalidad de cintilla.

La sección "B" consta de 6 líneas regantes, cada una de estas líneas tiene 27 goteros, y cada gotero tiene un adaptador con 4 salidas para regar a 4 macetas c/u. De la misma forma en la que se evaluó la eficiencia de la cintilla, se evaluaron los goteros, aforando el gasto por emisor a lo largo de cada línea regante, colocando el colector cada 10 goteros por un tiempo de 5 min. Comenzando del segundo.



Figura 4.11. Aforo de goteros.

Tabla 4.7.Datos de Aforo a goteros.

Emisor	Q (ml)	Emisor	Q (ml)	Emisor	Q (ml)
1	162	1	162	1	160
2	162	2	160	2	160
3	160	3	162	3	162
4	162	4	160	4	160
Media	161.5	Media	161	Media	160.5
Emisor	Q (ml)	Emisor	Q (ml)	Emisor	Q (ml)
1	162	1	162	1	162
2	160	2	160	2	162
3	160	3	160	3	160
4	162	4	160	4	162
Media	161	Media	160.5	Media	161.5
Emisor	Q (ml)	Emisor	Q (ml)	Emisor	Q (ml)
1	160	1	162	1	162
2	160	2	160	2	160
3	162	3	160	3	160
4	160	4	162	4	160
Media	160.5	Media	161	Media	160.5
Emisor	Q (ml)	Emisor	Q (ml)	Emisor	Q (ml)
1	160	1	160	1	162
2	160	2	160	2	162
3	162	3	162	3	162
4	160	4	162	4	160
Media	160.5	Media	161	Media	161.5
Emisor	Q (ml)	Emisor	Q (ml)	Emisor	Q (ml)
1	162	1	160	1	160
2	160	2	158	2	160
3	162	3	160	3	162
4	162	4	162	4	162
Media	160.5	Media	160	Media	161
Emisor	Q (ml)	Emisor	Q (ml)	Emisor	Q (ml)
1	160	1	162	1	160
2	162	2	160	2	160
3	160	3	162	3	162
4	160	4	162	4	160
Media	160.5	Media	161.5	Media	160.5

La grafica muestra la distribución de gasto de los goteros, los números señalados del 1 al 6 señalan el número de manguera tendida, y cada barra representa un gotero aforado por manguera. Cada barra representa un gotero aforado por manguera.

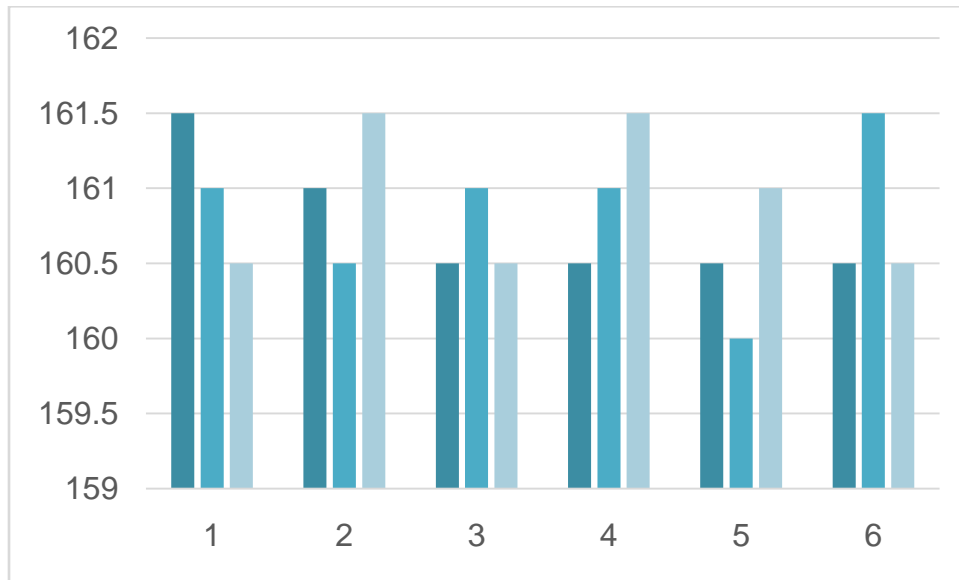


Figura 4.12. Grafica de Q en goteros.

La grafica muestra la distribución de gasto de los goteros, los números señalados del 1 al 6 señalan el número de manguera tendida, y cada barra representa un gotero aforado por manguera. Cada barra representa un gotero aforado por manguera.

4.5. Funcionalidad de la nebulización

Los nebulizadores trabajaron de forma correcta, al expulsar el agua de sus emisores con efecto de brisa.



Figura 4.13.Sección “D” nebulización.



Figura 4.14.Sección “C” nebulizadores.

Después de observar la funcionalidad de los nebulizadores, se procedió a evaluar su uniformidad de área regante, de la siguiente manera:

Se colocaron vasos en diferentes partes del área regante, por un tiempo de 10 minutos, al término del tiempo se verificó que todos los envases tuvieran el mismo contenido de agua. Los envases habían sido marcados con una regla, de esa manera se comparó el contenido de los vasos, el contenido no variaba tanto, pero se apreció que los envases que estaban colocados en el área de traslape de los nebulizadores tenían un poco más contenido de agua que los demás.



Figura 4.15. Funcionalidad de nebulización.

4.6. Instalación de tinaco

El tinaco se instaló al final, dado que la fuente de agua es funcional hasta el momento y no ha presentado ninguna falla. Este se instaló al exterior del invernadero a nivel de piso, brindando una presión positiva a la bomba de $\frac{1}{2}$ hp.



Figura 4.16. Tinaco instalado al exterior del invernadero.

4.5. Automatización

La automatización del sistema se llevó a cabo con ayuda del manual, programando 4 secciones, 2 de riego y 2 de nebulización. Las secciones de riego se programaron en 2 tiempos de 30 min., de 9:00 a 9:30 sección "A" y de 9:30 a 10:00 sección "B".

Las nebulizaciones se aplicaran en horas de medio día, sección "C" de 12:00 a 12:30 y de 16:30 a 17:00 la sección "D" de 12:30 a 13:00 y de 17:00 a 17:030.

V. CONCLUSIONES

El sistema de riego que le otorga a las plantas seleccionadas la cantidad adecuada de agua para su desarrollo. El drenaje funciona, desechando el exceso de agua de la sección "A.

El sistema funciona de manera eficiente, la bomba satisface a los sistemas de riego con el gasto y presión necesaria. La automatización brinda la oportunidad de encender el sistema de riego y nebulización del invernadero fuera y dentro de horas de trabajo sin que sea operado.



Figura 4.17.Invernadero en funcionamiento

VI. LITERATURA CITADA

- Acedo, S. J. 2003. Control Avanzado de Procesos: teoría y práctica. Madrid.
- Aguado da Costa, J. 2012. Desarrollo de un sistema automatizado para invernadero. Tesis de licenciatura. Escuela de Ingenierías profesionales. Universidad de Valladolid. pp. 35-36.
- Angulo, B.C. y G.C., Raya. 2004. Tecnología de Sistemas de Control. S.I. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Briceño, M.; F., Álvarez. y U., Barahona. 2012. Manual de Riego y Drenaje. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras, Centroamérica. ISBN: 1-885995-76-8. pp 68
- Canedo, F. 2013. Persiste ineficiencia en riego. El Siglo de Torreón. Torreón, Coahuila.
- Castilla, N.P. 2007. Invernaderos de plástico. Segunda edición. Aedos, S.A. Barcelona, España. ISBN 13: 978-84-8476-321-5. pp.25,84.
- Cermeño, S.Z. 2005. Construcción de invernaderos. Tercera edición. Editorial Aedos, S.A. Barcelona, España. ISBN: 84-8476-251-3. pp. 21.
- Creus, S.A. 2005. Instrumentación Industrial. Editorial Marcombo. España [En línea].
- Espino del Pozo, J.F.; Pedraza Martínez, J.A. y C.Y., Hernández. 2011. Estudio de sistemas de bombeo agropecuarios en México. CONUEE/GIZ. México DF.
- FranquetBernis, J.M y A.G., Querol. 2010. Nivelación de terrenos por regresión tridimensional. UNED-Tortosa. 1ed. España.

- Flores, A.O; G.S., Martínez; J.C, Quiroz- Ramírez; F.R., Díaz Serrano y M.E. Romero Valdés. 2012. Análisis de la transmitancia de luz en un invernadero para producción de jitomate. Universidad de Guanajuato. Acta Universitaria. Vol. 22 No. 1 Enero-Febrero 2012.
- García J.L.; L.M., Navas; R.M., Benavente; L., Luna y M., Muñoz. 1999. Diferentes tipos de invernaderos. Vida Rural 88: 44-47.
- García, M.E. 1999. Automatización de Procesos Industriales. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. 2ed.
- Gómez, M.C. 2001. Control climático mediante nebulización. Ingeniero Agrónomo. PB Systems, S.L. Rev. Horticultura.
- Gurovich, L. A. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. IICA/Serie de libros y materiales educativos. San José, Costa Rica. ISBN 92-9039.064-6. pp218 [en línea].
- Huertas, L. 2007. El control ambiental dentro de invernaderos: temperatura. Tecnología de producción e invernaderos. Rev. Horticultura. 44-47
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 1995. Coordinación de tecnología de riego y drenaje, Proyecto RD-95062 Pronóstico de riego en tiempo real.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2014. Estación El Porvenir - Municipio: Francisco I. Madero
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2002. "Cambio global y recursos hídricos en México: Hidropolitica y conflictos contemporáneos por el agua. Dirección general de investigación de ordenamiento ecológico y conservación de ecosistemas: 3-4"

- La prensa, noticias de El Sol de la Laguna. 2009. Cultivos de invernadero suman 300 hectáreas en la Comarca Lagunera.
- Lugo, O.E; Quevedo, A. N; Bauer-Mengelberg, J.R.; Hebert del Valle, P.D; Palacios, E.V y Águila, M.M. 2011. Prototipo para automatizar un sistema de riego multicultivo. Rev. Mex. Cienc. Agríc vol.2 no.5
- Medina San José, J.A. 1985. Riego por goteo: teoría y práctica. IICA Biblioteca Venezuela.
- Mirafuentes, H.F; V., Palacio-Martínez y M., Alonso Baéz. 2006. Manual de producción de papaya (*Carica papaya L.*): para el trópico Húmedo de México. Folleto para productores N°4. Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimenta Rosario Izapa, Tuxtla, Chico, Chiapas, México. ISBN 970-43-0056-5. pp. 7-8.
- Moeller-Chávez, G., P. Mijaylova-Nacheva y V.E. Escalante. 2002. Evaluación de alternativas para reusó del agua en tres giros industriales. Gestión inteligente de los recursos naturales: desarrollo y salud, FEMISCA: 1-7.
- Molina, J.M. y A. Ruiz. 2009. Simulador de riego por goteo (Sirigo V1.0). XII Congreso Internacional de ingeniería de proyectos. Badajoz, 8.
- Palacios, V. O. 2002. Apuntes de Drenaje Agrícola. Chapingo México, Departamento de Irrigación.
- Pizarro, F. 1996. Riegos Localizados de Alta Frecuencia: Goteo, microaspersión y exudación .3º Edición. Ediciones Mundi-Prensa.
- Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. 2009. Torreón, Coahuila de Zaragoza. C. g. 05035.
- Rodríguez, D.F. 2005. Modelado y control jerárquico de crecimiento de cultivos en invernaderos. Volumen 182 de tesis doctorales. Universidad de Almería. ISBN 9788482407494. pp. 280

Rodríguez, S. F. 2003. Riego por goteo. México: A.G.T. Editor. Pp 31.

Rodríguez, R. R.; J.M.T., Rodríguez y J.A., Medina San Juan. 1996. Cultivo moderno del tomate. 2da. Madrid: Mundi-prensa.

Rodrigo V., J.G. Carletto, G.M., Rodrigo; A., Hellmers; A., Fasulo y L. Medina. 2002. Bomba neumática en paralelo alimentada con energía solar, para riego en Invernadero.

Salazar, J.N. 2013. UF0010: Preparación del terreno para instalación de infraestructuras y plantación frutales. IC editorial. ISBN: 978-84-16067-49-7. Sección 5.

Santos, P.L; J.A., de Juan Valero; M.R., Picornell Buendía y J.T, Martí-Benito. 2012. "El Riego y sus Tecnologías. CREA-UCLM. España. 1ª. ed. ISBN: 13:978-84-692-9979-1. pp.255

Servicio Meteorológico Nacional 2014. Normales Climatológicas Torreón, Coahuila.

Shock, C.C. y T. Welch. 2013. El riego por goteo: Una introducción. Técnicas para agricultura sostenible. OregonStateUniversity. EM 8782-S.

Soto- Balderas, J. y M.M. Gómez-Guijarro. 2012. Actores sociales y arsénico. La contaminación del agua en la Región Lagunera. CIENCIACIERTA.uadec.mx.

Torres, A. y L. Lerins. 2011. Sistemas de riego localizado: Manual de mantención y operación de sistemas de riego a presión. Centro de Transferencia y extensión del palto. Ovalle, Chile.

Universidad Autónoma Chapingo, Centro universitario de educación virtual. 2008. "Apuntes de topografía para agrónomos: Altímetría. [En línea]

Vaquero. B.J.L. 2007. Principios básicos para la instalación de riego por goteo a pequeña escala. Programa de manejo integrado de plagas en América Central. Honduras.