



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

# **BASES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

PRESENTA:

**GUSTAVO YAIR MENDOZA ORTEGA**

ASESOR

ING. GUSTAVO MENDOZA RIVERA

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
ASUNTO: **VOTO APROBATORIO**

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautilán.**



Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

**Bases técnicas para el diseño de los sistemas de riego por goteo**

Que presenta el pasante: **GUSTAVO YAIR MENDOZA ORTEGA**  
Con número de cuenta: **30803237-4** para obtener el Título de: **Ingeniero Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"**  
Cuautilán Izcalli, Méx. a 22 de agosto de 2016.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Ing. Francisco Javier Vega Martínez	
<b>VOCAL</b>	Dra. Gloria Herrera Vázquez	
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Gustavo Mendoza Rivera	
<b>1er SUPLENTE</b>	M.C. Ana María Marínez García	
<b>2do SUPLENTE</b>	M.I. Martha Elena Dominguez Hernández	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.  
(Art 127 REP)

IHM/ntm\*

## Agradecimientos

También agradecer a mi padre, ahora como maestro, por su apoyo, amistad y conocimiento brindado desde siempre.

Quiero agradecer también a la Universidad Nacional Autónoma de  
Agradecimientos

Primeramente quiero dar gracias a Dios por permitirme cumplir esta meta tan importante en vida, acompañado de la mayoría de mis seres queridos.

Quiero agradecer a mis padres, hermanos y familia, por su confianza y apoyo durante todos estos años.

A Lesly quiero darle las gracias por apoyarme y aconsejarme en esta etapa, que ha significado mucho para mí.

No puedo dejar atrás a mis compañeros y amigos de la generación 36 (Canelo, Mimi, Lull y Bosque) a los que agradezco infinitamente por su amistad y apoyo durante estos años.

México por abrirme las puertas desde el CHH-Vallejo, sobretodo quiero agradecer a la Carrera de Ingeniería Agrícola por darme la oportunidad de ser parte de ella, a quien le debo mi preparación para mi etapa y vida profesional.

Sé que esto no habría sido posible sin el apoyo de mis profesores, a los que también agradezco por su conocimiento y amistad brindada durante este tiempo, en especial quiero agradecer al profesor Roberto Guerrero Agama por su enseñanza, pero sobre todo por su amistad, incluyendo sus regaños.

Quiero agradecer a la maestra Martha Domínguez por su apoyo, amistad y asesoría brindada.

## Dedicatorias

A mis padres por ser el gran apoyo que siempre he tenido para salir adelante, gracias a sus consejos, regaños, a todo lo que me han dado, hoy se concluye la mejor etapa que he tenido en mi vida.

A mi Tía Chelo (†) que siempre me aconsejo y apoyo en todo, hoy no estás físicamente a mi lado para compartir este momento tan importante en mi vida, sin embargo sé que donde te encuentras, estás apoyándome como siempre.

A mis hermanos, a quienes admiro y les deseo lo mejor.

A mi fea por ser muy importante en mi vida, por su apoyo y consejos, gracias por estar a mi lado en estos momentos tan importantes.

## Contenido

Índice de tablas.....	VI
Índice de figuras.....	VII
Índice de anexos.....	VIII
<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
<b>III. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Importancia del uso sustentable del agua de riego .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2 Los sistemas de riego presurizados.....</b>	<b>7</b>
<b>3.3 Riego por goteo .....</b>	<b>8</b>
<b>3.4 Estudios técnicos para el diseño de sistemas de riego .....</b>	<b>14</b>
<b>3.4.3 Fuentes de abastecimiento de agua .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4.4 Estudios socioeconómicos.....</b>	<b>20</b>
<b>3.5 La producción de papaya en México .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5.2 Los sistemas de riego en el cultivo de papayo .....</b>	<b>22</b>
<b>IV. GUÍA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Características del Terreno.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 Condiciones agroclimáticas .....</b>	<b>26</b>
<b>4.3 Fuente de abastecimiento de agua .....</b>	<b>29</b>
<b>4.4 Estudios socioeconómicos.....</b>	<b>30</b>
<b>4.5 Estudios Técnicos para el diseño del sistema de riego .....</b>	<b>31</b>
<b>4.5.1 Determinación del tipo de suelo.....</b>	<b>31</b>
<b>4.5.2 Cálculos para la determinación de requerimientos de agua .....</b>	<b>32</b>
<b>4.6 Determinación del sistema de riego para el cultivo de papaya, en Tlaltizapan, Morelos.....</b>	<b>39</b>
<b>4.7 Guía condensada para el diseño de un sistema de riego por goteo .....</b>	<b>65</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>73</b>
<b>VII. ANEXOS.....</b>	<b>76</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Eficiencia de los sistemas de riego.....	8
Tabla 2. Sistemas de riego por micro-irrigación.....	9
Tabla 3. Estación: 00017056 SAN PABLO HIDALGO .....	27
Tabla 4. Factor de corrección de la ecuación Doorenbos y Pruitt. ....	28
Tabla 5. Cálculo de ETP.....	29
Tabla 6. Humedad disponible en el suelo .....	31
Tabla 7. Capacidades de infiltración básica de las referencias de texturas.....	32
Tabla 8. Factores de abatimiento de la humedad disponible en el estrato de suelo explorado por los cultivos.....	33
Tabla 9. Eficiencia de la aplicación del riego por goteo en función del medio ambiente. ....	34
Tabla 10. Conductividad eléctrica máxima tolerable por lo cultivos con una disminución en su rendimiento de 10 %.....	34
Tabla 11. Precipitación efectiva mensual en función de la ETP del cultivo y la lluvia observada por el método de Doorenbos y Pruitt.....	36
Tabla 12. Factor de corrección para la precipitación efectiva por el método de Doorenbos y Pruitt.....	37
Tabla 13. Diámetros tubería de PVC.....	44
Tabla 14. Cálculo de diámetro de tubería principal al primer módulo o sección. ....	44
Tabla 15. Cálculo de diámetro de tubería principal al segundo módulo o sección. ....	45
Tabla 16. Cálculo de diámetro de tubería principal al tercer módulo o sección. ....	45
Tabla 17. Cálculo de diámetro de tubería principal al cuarto módulo o sección. ....	46
Tabla 18. Factor de corrección con laterales. ....	46
Tabla 19. Cálculo de diámetro de tubería secundaria.....	47
Tabla 20. Cálculo de diámetro de válvulas.....	49
Tabla 21. Pérdidas de carga en el sistema. ....	57
Tabla 22. ( $H_0 - H_v$ ) en función de las temperaturas y altitudes.....	60
Tabla 23. Conexiones para manguera de goteo.....	62

## Índice de figuras

Figura 1. Plano del proyecto. ....	25
Figura 2. Plano del terreno con líneas de conducción de agua. ....	42
Figura 3. Cálculo de Hf y Velocidad en línea de goteo. ....	48
Figura 4. Plano del terreno con líneas de conducción de agua, regantes y válvulas .....	50
Figura 5. Pérdidas de carga en medidor de flujo. ....	52
Figura 6. Pérdidas de carga en válvula mariposa.....	53
Figura 7. Pérdidas de carga en filtro.....	54
Figura 8. Pérdidas de carga en válvula check. ....	55
Figura 9. Curva de trabajo bomba Cuma Modelo K2L.....	60
Figura 10. Consumo de energía (bomba 10 hp).....	61
Figura 11. Plano de diseño de sistema de riego por goteo para cultivo de Papaya. ....	63
Figura 12. Plano de una sección con su hf y presión de operación a la salida de la válvula. .....	64

## Índice de anexos

Anexo 1. Manguera DripNet. Máxima longitud de laterales a emplear.....	76
Anexo 2. Cabezal de riego.....	78
Anexo 3. Conexión de succión y descarga de la bomba.....	79
Anexo 4. Conexión de filtro y medidor de flujo.....	80
Anexo 5. Elementos que componen el cabezal de riego.....	81
Anexo 6. Conexión válvula reguladora de presión, válvula Barak y Emek. ....	82
Anexo 7. Elementos que componen válvulas para cada sección (muñecas).....	83
Anexo 8. Conexión tubería secundaria-manguera de goteo.....	84
Anexo 9. Conexiones para manguera de goteo.....	85
Anexo 10. Elementos que componen el diseño del sistema de riego por goteo para el cultivo de papaya.....	86

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el fin de generar un documento que facilite el diseño de los sistemas de riego por goteo, tomando como base el cultivo de papaya en la comunidad de San Rafael, Municipio de Tlaltizapan, en el estado de Morelos.

Para crear la guía de un sistema de riego por goteo se realizó una revisión de los diferentes sistemas de riego por goteo, para determinar cuál era el más apropiado para el cultivo de papaya.

Con el fin de establecer las bases técnicas para el diseño del sistemas de riego por goteo también se consideraron las condiciones agroclimáticas de la zona, obtenidas a partir de las Normales Climáticas del Servicio Meteorológico Nacional de 1980-2010, estos datos fueron utilizados posteriormente para calcular los requerimientos de agua del cultivo. Asimismo, se identificaron las fuentes de almacenamiento y su ubicación para determinar las secciones de riego, considerando el flujo disponible.

Además, la localización de las áreas de cultivo y la fuente de almacenamiento de agua permitieron establecer la ubicación de la unidad de bombeo.

La guía se elaboró con base a un proyecto de papaya en el estado de Morelos, el cual ya contaba con un plano elaborado en Autocad donde se ubicaban las diferentes áreas del cultivo.

Una vez realizados estos estudios, y habiendo determinado la viabilidad del proyecto, se procedió al cálculo de requerimientos de agua del cultivo, para definir el tipo de gotero que cumpliera con las necesidades del cultivo, acorde con el sistema de plantación.

Las líneas de conducción de agua se trazaron para cada uno de los cuatro módulos, con que contaba el productor, se realizaron cálculos hidráulicos, apoyados con la ecuación de Hazen-Williams para determinar el diámetro de las tuberías de conducción a emplear.

La selección del diámetro de los componentes del sistema de riego, válvulas de control y de seguridad, filtro y unidad de bombeo se realizó a partir de tablas comerciales obtenidas de productos de origen Israelí, ya que son los que tienen mayores avances tecnológicos en los sistemas de riego presurizados, principalmente en riego por goteo.

Para finalizar el diseño, se elaboraron planos en Autocad, ubicando los diferentes componentes del sistema de riego y se procedió a elaborar una guía técnica que facilita el diseño de un sistema de riego por goteo para diferentes cultivos.

.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El agua es un factor importante de desarrollo económico y social de los pueblos, en México existe una gran diversidad de recursos naturales debido a sus características orográficas, esto provoca una necesidad de optimizar el uso y racionalización de los mismos, en especial del agua. (González, 2000). Este recurso, que es esencial para el crecimiento y sobrevivencia de las plantas, puede generar limitantes para la producción agrícola, lo que hace necesario evitar que las plantas sufran escasez del vital líquido con el fin de asegurar el máximo crecimiento (Winter, 1979).

En los últimos años, los sistemas de riego presurizados han sido una alternativa para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, en zonas donde las condiciones de pendiente no permiten el uso de riego rodado. En México los sistemas de riego presurizados se encuentran difundidos a lo largo del país en sus diferentes modalidades, donde el 80% de las hectáreas cultivadas son de temporal y únicamente en el 20% restante se utiliza un sistema de riego (INEGI, 2014). Sin embargo, esta condición no debe ser una limitante, para que, con un uso adecuado y eficiente del recurso hídrico, se lleve a cabo un incremento de la superficie bajo riego.

La escasez de los recursos hídricos de buena calidad hace que se incremente el interés en la implementación de sistemas de riego presurizados que permitan la aplicación de agua en forma eficiente con lo que se favorece una relación óptima entre la producción obtenida y el volumen de agua aplicada. (López, 1997). Entre las tecnologías desarrolladas en la agricultura para lograr dicha relación, la micro-irrigación ha mostrado su utilidad, en las zonas áridas de todo el mundo, permitiendo obtener importantes incrementos en la eficiencia de la aplicación del agua. (Hernández, 1990).

Los sistemas de riego por goteo, diseñados y manejados adecuadamente, ayudan a obtener mejores rendimientos con menor cantidad de agua, energía, trabajo y fertilizantes. Estos sistemas alcanzan una eficiencia mayor que los convencionales de superficie o aspersión, esto surge como resultado de la minimización de pérdidas de agua, tales como evaporación, filtración de canales, también pérdidas dentro de la parcela, como escorrentías y filtración profunda (Boswell, 1990).

El estado mexicano concibe al agua como un bien económico que debe utilizarse de acuerdo con criterios de eficiencia económica como la relación costo-beneficio. De acuerdo con evaluaciones externas realizadas a los principales programas gubernamentales destinados al uso eficiente del agua, los problemas en este sector tienen una explicación mono causal: la falta de ahorro de agua en la agricultura de riego se debe a la falta de equipo de riego tecnificado en las parcelas (Pimentel, 2012).

Sin embargo, de manera general, la infraestructura hidráulica para sistemas de riego presurizados en el país es ineficiente, debido a carencias y falta de experiencia en el diseño hidráulico, lo que ocasiona afectación en los niveles de producción y proyectos de baja, mediana y alta tecnología que no han logrado los niveles deseados. Esto ocasiona que los costos de producción se incrementen por una inadecuada distribución del agua de riego y la fertilizantes, afectando el manejo del cultivo (INFERSA, 2010).

En la producción de papaya era común utilizar riego rodado, los sistemas de riego por goteo se incorporaron hasta 1994. Este cambio es debido a la demanda creciente de éste fruto, por ejemplo, en 1999 se establecieron 70 hectáreas de papaya Maradol bajo sistema de riego por goteo (Escobar, 2011). El estado de Morelos pese a que en la actualidad más del 70% de la agricultura protegida se destina para sembrar jitomate, el cultivo de la papaya ha resultado ser más rentable. Por la siembra de jitomate o papaya, en dos mil metros de extensión de tierra, el productor recibe anualmente cerca de 100 mil pesos (Hernández, 2009).

Sin embargo, la extracción de agua de los pozos en el estado de Morelos está a punto de alcanzar un nivel de sobre explotación, provocando que los productores tomen previsiones y para evitar pérdidas en sus cultivos, entre las soluciones que se han considerado están la reducción de consumo de agua y la aplicación más eficiente, por ello, la implementación de los sistemas de riego por goteo permitiría reducir este problema considerablemente (Vargas, 2013).

Considerando la diversidad de climas, de condiciones orográficas y de cultivos que existen en el país, así como las diferentes formas de manejo, es necesario crear una guía que sirva para poder diseñar un sistema de riego presurizado apropiado en donde se consideren aspectos básicos del diseño para la conducción y distribución del agua y las condiciones edafoclimáticas que permitan satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo.

En este trabajo se presenta una guía para el diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de papaya (*Carica papaya*) en el municipio de Tlaltizapan, Morelos, considerando los parámetros antes mencionados.

## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Establecer las bases técnicas para el diseño de sistemas de riego por goteo, tomando como base el cultivo de papaya (*Carica papaya*) en el Municipio de Tlaltizapan, Mor.

### 2.2 Objetivos Particulares

- Determinar las condiciones edáficas y climáticas que permitan calcular los requerimientos de agua del cultivo, con el fin de realizar la toma adecuada de decisiones con respecto al diseño de un sistema de riego.
- Realizar los trabajos técnicos *in situ* y de gabinete que permitan generar una guía para el diseño de un sistema de riego por goteo.

### **III. MARCO DE REFERENCIA**

#### **3.1 Importancia del uso sustentable del agua de riego**

La seguridad hídrica implica una sólida estrategia de adaptación temprana que proporcione beneficios inmediatos a las poblaciones vulnerables. Por lo tanto, los países que logren alcanzar la seguridad hídrica sufrirán menos los efectos del cambio climático. La seguridad hídrica requiere invertir en las tres “I”: Información más accesible y adecuada, Instituciones más fuertes y flexibles, e Infraestructura natural y artificial para el almacenamiento, transporte y tratamiento del agua. (Muller, 2010).

Cada día es más urgente impulsar enfoques más amplios y sostenibles que consideren los diferentes usos del agua de manera conjunta. Sin embargo, la mayoría de las tecnologías de captación y distribución de agua, como el riego moderno y de gran escala, tienen una justificación agro-comercial o de agro-exportación, de aquí la importancia estratégica de promover opciones que prioricen el manejo integrado de los suelos y del agua. (Water, 2013)

#### **3.2 Los sistemas de riego presurizados.**

Los sistemas de riego presurizado, son el conjunto de estructuras, que permiten determinar que un área pueda ser regada aplicándole el agua necesaria a las plantas. Estos sistemas constan de varios componentes y el conjunto de éstos, determina si se trata de riego superficial, por aspersion o por micro-irrigación; por ello es importante conocer cuales sistemas de riego existen. (Serna, 1997)

Los sistemas de riego varían desde cañones hasta goteros, por lo que la eficiencia de estos también es distinta, los sistemas de goteo tienen una eficiencia en el uso y manejo del agua de 90 a 95%, mientras que los de gravedad tienen la menor

eficiencia, debido a las elevadas pérdidas por evaporación e infiltración (Tabla 1), los sistemas presurizados son una excelente opción para llevar a cabo un uso racional del agua.

Tabla 1. Eficiencia de los sistemas de riego.

Tipo de sistema de riego	Eficiencia (%)
Gravedad	40-50
Aspersión	60
Micro aspersión	85-90
Goteo	90-95

Fuente: Pair, 1986.

### 3.3 Riego por goteo

Micro-irrigación es el término usado para describir un método de riego que está caracterizado por el agua que se aplica frecuentemente, durante un largo periodo de tiempo, en intervalos diferentes, directamente a la zona radicular de la planta y por medio de un sistema de distribución de baja presión. Para tal fin, este sistema reparte agua al cultivo usando una red de tuberías principales, manifolds y líneas regantes con puntos de emisión espaciados a una determinada distancia. (López, 1997)

El agua y los nutrientes penetran en el suelo desde los emisores, moviéndose hacia la zona radicular de la planta por fuerzas combinadas de gravedad y capilaridad, de esta manera la carencia de humedad y nutrientes se cubren casi inmediatamente, asegurando que la planta no padezca de ellos, lo que provoca que alcance su crecimiento óptimo y una alta productividad. (Boswell, 1990)

La micro-irrigación incluye sistemas de riego que usan mangueras de goteo (cintas), emisores, difusores, mini-aspersores y micro aspersores, según el mecanismo de emisión.

Estos sistemas alcanzan una eficiencia mayor que los convencionales de superficie o aspersion, dicha eficiencia es resultado de la eliminación de las pérdidas de agua, tales como evaporación y filtración de canales. También considera pérdidas dentro de la parcela, como escorrentías, filtración profunda, y pérdidas de evaporación desde las hojas y suelo. (Hernández., 1997)

Existen dos tipos de flujo:

- Flujo laminar
- Flujo turbulento

Los sistemas de riego por micro-irrigación se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 2. Sistemas de riego por micro-irrigación.

Elemento	Características
Gotero	Autocompensado (PC)
Gotero	Autocompensando (PC) + antidrenante (CNL)
Cintilla	Gotero tipo pastilla
Manguera de goteo	Gotero termofusionado (Pared gruesa)
Manguera	Tubo capilar

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Los sistemas de goteo, tienen diferentes tipos de emisores; por ello, al momento de seleccionar el emisor para el sistema, se debe de buscar el que se adapte mejor a los requerimientos hídricos; así como al manejo, las labores culturales, el

marco de plantación y el ciclo del cultivo, con el fin de aplicar agua solo donde se ubiquen las plantas. (Netafim, 1996)

Entre los emisores existentes se encuentran:

- **De flujo turbulento**

En este tipo de emisores las partículas del fluido se mueven de manera rápida e irregular con movimientos aleatorios. Los emisores de flujo turbulento regulan la corriente de agua perdiendo energía por la fricción que se genera con el roce contra las paredes del conducto y también por el choque de las partículas entre sí. Un ejemplo son las mangueras con gotero integrado y de botón que utilizan un laberinto con una profundidad larga y ancho con lo cual se controla la corriente de flujo. Estas características conducen a tener emisores de menor tamaño y con alta eficiencia. (Boswell, 1990)

- **Emisores de flujo laminar**

En una corriente laminar las partículas del fluido se mueven lenta y ordenadamente, fluyendo suavemente y a poca velocidad. Los mecanismos de flujo laminar regulan la corriente de agua disipando energía por la fricción contra las paredes de la conducción, cuanto más estrecho o largo es el conducto mayor resistencia de rozamiento opondrá el flujo, así, los mecanismos de flujo laminar utilizan conductos largos y estrechos. Los microtubos, los tubos capilares y emisores en forma de espiral son buenos ejemplos del mecanismo de flujo laminar. (Boswell, 1990)

Los emisores de flujo laminar son sencillos, seguros y baratos, con un sistema adecuado de diseño y manejo, estos emisores funcionan bien. Sin embargo, son relativamente sensibles a la presión, es decir, su caudal varía significativamente con la presión, y debido a la poca velocidad del fluido y a los pequeños diámetros de los conductos son susceptibles a la obturación, son también sensibles a la viscosidad del agua, lo cual significa que su caudal varía con la temperatura del mismo.

En comparación con el flujo laminar, el emisor de flujo turbulento tiene la ventaja de presentar conductos más cortos o más anchos y velocidad de fluido más alta, lo que es ventajoso en términos de resistencia a las obstrucciones. Además, cuanto más se acerque el flujo del emisor a flujo turbulento su caudal será menos sensible a las variaciones de presión que un emisor de flujo laminar y se verá menos afectado por las temperaturas del agua. (INFERSA, 2010)

- **Emisores autocompensados**

Pueden ser emisores de flujo laminar o turbulento, en cualquiera de los casos estos emisores utilizan la presión de entrada para modificar el tamaño del conducto del fluido, su forma o longitud. Esta modificación se lleva a cabo, generalmente, por una deformación, inducida por la presión de un disco elastomérico, o diafragma que obstruye la salida del agua, de esta manera los emisores autocompensados son capaces de proporcionar el caudal correcto dentro de una amplia gama de presiones de entrada y en este entorno su caudal es relativamente constante. (Boswell, 1990)

Estos emisores tienen el inconveniente de que los materiales elastoméricos usados en su construcción tienen tendencia a cambiar sus propiedades con el tiempo. Dependiendo del material, el elastómero tendrá tendencia a absorber agua, perder su elasticidad o romperse bajo prolongado estrés. Al cambiar las propiedades de un elastómero con el tiempo se originará un cambio en el funcionamiento del emisor, así es extremadamente importante que el material elastomérico usado en la construcción de emisores sea de la más alta calidad. (Boswell, 1990)

- **Sistemas de cintilla**

Cintas o cintillas; es el término más empleado en la industria para denominar las diferentes tuberías de distribución lineal de agua, con paredes delgadas, usadas para cultivos en hileras. Las cintillas distribuyen el agua a lo largo de su longitud a través de pequeños y próximos orificios que están diseñados para controlar el

caudal, de tal manera que se produzca una distribución uniforme del agua. Los diversos tipos de cintillas que existen en el mercado muestran significativas diferencias en sus características hidráulicas de diseño. Estas tuberías de orificio controlan el flujo mediante uno o más orificios, los cuales han sido pinchados, taladrados o quemados a través de la pared o paredes de la tubería, estos orificios se pueden hacer bajo tolerancias muy estrictas, como agujas de precisión o rayo láser, y típicamente tienen de 0.35 a 0.65 milímetros de diámetro, dependiendo este del caudal deseado. (Boswell, 1990)

Estas se clasifican de acuerdo al grosor o calibre de la pared (4, 5, 6, 8, 10, 13, 15, 25 milésimas de pulgada<sup>1</sup>) con una presión de operación de 4 hasta 20 libra/pulgada (PSI), dependiendo del grosor de la misma. Su sistema de regulación de flujo es mediante una cinta de plástico termo fusionada a la pared de la misma, al ser una cinta de pared muy delgada y siendo parte del gotero esta se ve influenciada drásticamente por la viscosidad y temperatura del agua de riego, no siendo uniforme su distribución a lo largo de la misma. La forma de estos goteros se ve influenciada por la temperatura externa ya que al incrementarse la temperatura externa se dilata y esto ocasiona que los pasos del agua sean mayores y por consiguiente se crea una diferencia en la emisión del flujo. (Boswell, 1990)

- **Cinta con gotero tipo pastilla**

Estas mangueras llevan termo fusionados goteros de pastilla con un gasto ya definido y van localizados a una distancia pre fijada, su caudal es constante debido a que estos goteros son de tipo turbulento y la influencia de la viscosidad y temperatura del flujo es mínima debido a que son construidos en polietileno de alta densidad, al ser rígidos no se modifica su estructura por los cambios de temperatura, tanto de la pared como del flujo. Se encuentran con grosores de pared que van 5 a 25 milésimas de pulgada y presiones de operación que van de

---

<sup>1</sup> 1 milésima de pulgada es igual a 25.4 micras. 25.4 micras es igual a 0.0254 mm.

15 a los 30 PSI, su rango de operación es mayor debido a la calidad de resina con la cual son fabricados dando mayores opciones para su manejo.

Mangueras de goteo.

Estas tuberías tienen termo-fusionado un gotero de pastilla de polietileno de alta densidad, con características bien definidas para generar un flujo turbulento, los goteros tipo pastilla se termo-fusionan a distancias pre establecidas, son mangueras de pared normalmente gruesas que van de 25 a 45 milésimas de pulgada, con presiones de operación de 15 a 50 PSI.

Estas mangueras se fabrican en calibres que garantizan una vida útil de 1, 2, 3, 5 hasta 10 años y su empleo de las mismas está en función del tipo de cultivo características orográficas y edáficas y del conocimiento del agricultor. Una de las mangueras más importantes dentro de esta línea y la de mayor calidad es la manguera con gotero integrado autocompensado y antidrenante, la cual garantiza tener un mayor largo de tendido en las líneas de goteo, además, de una uniformidad en la descarga de los goteros hasta con diferencias de nivel de 3 hasta 35 metros. (Netafim, 1996)

- **Tuberías con orificios transmisores de flujo totalmente laminar (Tubo capilar)**

En este sistema de riego, se emplean tubines en diámetros externos de 3.0 mm que trabajan en base a la capilaridad, mediante este método se trata de controlar el caudal, los conductos capilares están formados por tubines de PVC de longitudes variadas, dependiendo de la longitud de los mismos se consigue un flujo determinado.

Debido a que los tubos capilares son emisores de flujo totalmente laminar, una variación de la presión afectará directamente la descarga de los emisores, además, el caudal de estos emisores varía con la viscosidad del agua y debe ser corregido en función de la temperatura de la misma. Estos sistemas requieren de

un diseño hidráulico más estricto con variaciones de presión no mayores de un 5% para que se tenga una descarga más uniforme (Boswell, 1990).

### **3.4 Estudios técnicos para el diseño de sistemas de riego**

Al momento de realizar un diseño de sistema de riego se tiene que tomar en cuenta la capacidad del proyecto con base en la demanda máxima caudal de riego que el sistema debe suministrar en la etapa crítica de producción del cultivo, así como la superficie total a regar. Entonces la capacidad del proyecto está basada en la predicción de la evapotranspiración máxima del cultivo, mientras que el requerimiento máximo de agua estará en función de la superficie total a regar en un futuro (López, 1997).

En México se emplearon inicialmente sistemas de riego por micro aspersion, con excelentes resultados. Sin embargo, como se requieren más labores de mantenimiento y los costos de producción se incrementan, se optó por innovar con un sistema de riego más eficiente; el goteo que es usado en fincas de producción en regiones como Belice, sin embargo, presentan problemas en el manejo del agua, lo que provoca que la aplicación y distribución del agua no sea uniforme, pues se tiene un manejo ineficiente de la hidráulica del suelo. (Hernández, 2009). Es por eso que al momento de realizar un diseño de un sistema de riego se debe considerar el tipo de suelo en el que se va a emplear, para evitar este tipo de problemas.

El sistema de riego por goteo es el más eficiente para el cultivo de papaya, aplica el agua cerca de las raíces manteniendo una buena humedad en toda el área de cultivo. La ventaja de este sistema de riego es la mayor eficiencia en la disponibilidad de agua para la planta, sin embargo, se debe tener un buen mantenimiento del sistema de riego evitar fugas y taponamiento de los goteros. Las desventajas de este sistema de riego son los altos costos de inversión y que no puede utilizarse agua de mala calidad. Este sistema es especialmente sensible

a las aguas duras que forman incrustaciones que tapan los goteros o reducen la efectividad de la aplicación, lo que hace necesario un mantenimiento periódico que puede elevar los costos de producción. (Casaca, 2005).

Debido a todos los problemas que se han detectado en los diferentes sistemas de producción de papaya, particularmente en los sistemas de riego, es necesario realizar un manual de diseño de sistemas de riego por goteo donde se tomen en cuenta todos los parámetros que permitan mantener una humedad adecuada tanto en cantidad como en tiempo de acuerdo a la etapa fenológica de la planta.

Para poder realizar el diseño de un sistema de riego deben tomarse en cuenta los parámetros siguientes:

- El tipo de cultivo (distancia entre plantas, distancia entre surcos, requerimientos edafoclimáticos).
- Costo de materiales y su montaje.
- Condiciones agroclimáticas.
- Características del terreno (tipo de suelo, desnivel).
- Adecuación de los productos a las prestaciones requeridas para las condiciones de trabajo e instalación.
- Cálculo de lámina neta. La lámina neta de riego no debe ser mayor a la capacidad de almacén del agua del suelo explorado por las raíces del cultivo.
- Intervalo de riegos. Al calcular el intervalo de riegos, el resultado anterior debe redondearse al número inmediato inferior.
- Precipitación horaria. Dentro del diseño, uno de los puntos más importantes es el cálculo de la precipitación horaria (PPH), la cual debe quedar por debajo de la velocidad de infiltración del suelo, esto con la finalidad de evitar problemas de encharcamiento y escurrimientos, así como el que no se distribuya adecuadamente la humedad en el perfil del suelo, una vez realizados los cálculos con las distintas distancias entre emisores y gastos,

se verifica que se encuentre dentro de la capacidad de infiltración del tipo de suelo presente.

- Determinación de materiales de conducción de agua.

Al momento de seleccionar el diámetro de las tuberías se tiene que tomar en cuenta ciertos parámetros; las velocidades del flujo son las más importantes a determinar ya que de estas dependen los efectos destructivos del golpe de ariete, que es determinante en las tuberías para disminuir la ruptura de estas:

- ✓ En línea principal la velocidad no debe ser mayor a 1.8 m/s. (Mejorada, 1990)
  - ✓ En línea secundaria no debe ser mayor a 3.5 m/s. (Mejorada, 1990)
  - ✓ Pérdidas por fricción ( $h_f$ ). Las pérdidas por fricción en un sistema de riego por goteo entre el primer y último emisor deben ser menor al 30%. (Mendoza, 2015).
  - ✓ Las tuberías utilizadas para los sistemas de riego generalmente son de PVC. La clase utilizada generalmente es RD-26. Dicho grosor de tubería se considera de acuerdo a las presiones máximas de operación del sistema.
  - ✓ Determinación de válvulas hidráulicas.
- Los filtros, válvulas mariposa, válvulas check, válvulas ventosas, válvulas de control en general y componentes del cabezal se deben seleccionar con base al caudal máximo requerido por sección y el diámetro de las tuberías del cabezal a emplear queda determinado por dichos componentes, mismos que no deben tener velocidades mayores a 2.0 m/s. (Mendoza, 2015)
- ✓ Para la prevención de ruptura de tuberías por cavitación o golpe de ariete, se deben de colocar válvulas ventosas a la entrada y salida de cada válvula reguladora de presión (Roldan, 1995).

- Para el cálculo de la carga hidráulica total se considera como pérdida por fricción ( $h_f$ ) principal a la línea que tiene la mayor longitud y el mayor gasto, se multiplica por el factor de pérdidas misceláneas “1.05” (Mendoza, 2015).
- Selección unidad de bombeo. Para la selección de la unidad de bombeo se debe considerar el caudal máximo a emplear en litros por segundo, y la carga máxima en metros de columna de agua (mca)
- Succión de la bomba. La máxima altura de aspiración teórica de una bomba que funciona al nivel del mar es de 10 metros. Este límite decrece un metro por cada 1000 msnm, en la práctica, la máxima altura de aspiración será al 70 por ciento de su valor teórico. La bomba se debe instalar de tal forma que no esté a más de 6 metros por encima del agua (Boswell, 1990).
- En la descarga de la bomba se debe colocar una válvula automática de aire para eliminar las burbujas de aire que se puedan generar en la succión. También se considera que en cabezal de riego y válvulas de riego se debe emplear tubería y conexiones en Cédula 40 (Boswell, 1990).

### **3.4.1 Características del terreno**

El suelo está compuesto por partículas orgánicas y minerales de diferente tamaño, el uso inadecuado hace que se disminuya la capacidad de retener las moléculas de agua y de nutrientes, además, brinda una serie de propiedades adicionales, que son de gran valor para las plantas. Sin embargo, estas propiedades se pueden perder por problemas de sanidad, compactación, drenaje y la falta de micro-organismos.

El desnivel que presenta un terreno puede disminuir o aumentar la eficiencia en un sistema de riego presurizado, por ello, al momento de diseñar se debe buscar la manera de que la pendiente actúe a favor para disminuir el consumo de energía,

en un sistema de riego por goteo la pendiente no debe ser mayor al 5% en líneas regantes. (Mendoza, 2015).

El suelo constituye un medio a través del cual se mueven el agua y los nutrientes, es también el anclaje de las plantas y la reserva de agua para su crecimiento. Las características de los suelos varían ampliamente de acuerdo con sus propiedades físicas, a menudo, determinando la clase de cultivo que puede ser establecido, y también el sistema de riego apropiado (Boswell, 1990).

La infiltración de un suelo impone límites en el diseño del sistema de riego, ya que una dosis de aplicación de agua mayor que la velocidad de infiltración daría lugar a escorrentía y podría causar erosión (Boswell, 1990).

### **3.4.2 Condiciones Agroclimáticas**

La variabilidad natural de las lluvias, de la temperatura y de otras condiciones del clima es el principal factor que explica la variabilidad de la producción agrícola, lo que a su vez constituye uno de los factores principales de la falta de seguridad alimentaria. Algunas zonas del mundo son particularmente proclives a dicha variabilidad: por ejemplo: el Sahel, el noreste del Brasil, el Asia central y México, por ejemplo.

Las condiciones extremas del clima, como las inundaciones, la sequía y las tormentas tienen un menor efecto conjunto en la producción agrícola que las deficiencias crónicas del clima., sin embargo, tanto la variabilidad del clima como sus extremos pueden aumentar a consecuencia del calentamiento del planeta (FAO, 1997).

Las condiciones climáticas cambiantes producen desequilibrios entre las precipitaciones y las necesidades de los cultivos durante las distintas etapas fenológicas, lo cual causa graves consecuencias que pueden ser negativas para los rendimientos y la calidad de los productos agrícolas (Copa-cogeca, 2007).

Las condiciones agroclimáticas son determinantes para el establecimiento de un cultivo, este va ligado a las necesidades hídricas de la planta, por ello es importante conocer los periodos de lluvia y de escasez de agua, así como las temperaturas máximas y mínimas. El apoyo de las estaciones climáticas es determinante a la hora de buscar esa información en la zona o zonas donde se pretende establecer un cultivo (Winter, 1979).

La latitud del lugar y la estación del año condicionan que las necesidades de fotoperíodo de los cultivos queden satisfechas o no, dicha necesidad está ligada a la duración de la noche más que a la del día (FAO, 2002).

### **3.4.3 Fuentes de abastecimiento de agua**

La fuente de abastecimiento de agua es el punto vital para el diseño de un sistema de riego, al no tener la cantidad de agua necesaria, la eficiencia del sistema será casi nula, o en su defecto obligará a disminuir la superficie de riego. Las fuentes de suministro de agua de riego pueden ser estanques, manantiales, lagos, arroyos, perforaciones, pozos. La mayoría de las instalaciones modernas de riego utilizan bombas centrifugas impulsadas por motores eléctricos o de combustión interna (Jensen, 1968).

La procedencia (río, pozo, manantial, jagüey, etc.) también se tienen que tomar en cuenta al momento de realizar el sistema de filtrado, el tratamiento químico necesario para la utilización de la misma y también el caudal disponible (Boswell, 1990).

Cuando se utilicen aguas superficiales, es preciso tener cuidado de escoger puntos alejados que se sepa que estén libres de contaminantes, inspeccionarlos con frecuencia para asegurarse de que sigan sin contaminaciones.

Los sistemas de micro-irrigación están caracterizados por un gran número de emisores con conductos bastante pequeños. Por ello se obturan fácilmente por materiales extraños (Ford, 1978). La cantidad de agua disponible es de suma importancia al momento de realizar la proyección del sistema de riego, ya que el número de secciones va ligado al gasto que se tenga disponible. (Mendoza, 2015).

Una fuente de almacenamiento asegura la cantidad de agua que se requiere para poder satisfacer las necesidades hídricas de la planta y funcionamiento del sistema de riego.

#### **3.4.4 Estudios socioeconómicos**

Un estudio socioeconómico permite conocer el entorno económico y social de una persona, una empresa o una zona y es determinante para considerar la calidad de los materiales a emplear en el sistema de riego. Los elementos serán lo mismo, sin embargo, al tener un recurso limitado el productor se ve en la necesidad de recurrir a materiales de otra calidad.

La información sobre el estado financiero del sistema de producción determina en muchas ocasiones, el capital disponible para infraestructura o la necesidad de financiamiento, en el caso del cultivo de papaya se ha determinado que es posible producir de 60 a 80 toneladas por hectárea con un costo de producción de \$57,451 pesos, con un precio de venta de \$2,000 pesos por tonelada, lo que genera ingresos de \$60,000 pesos por hectárea, esto permite mitigar el impacto migratorio e impulsar el cultivo como generador de ingresos, además de favorecer la inversión en tecnologías para la producción como los sistemas de riego (SAGARPA, 2012).

También es importante conocer el tipo de tenencia de la tierra porque esto puede ser un factor determinante en el monto de la inversión que realiza el productor.

Una vez caracterizado el sistema de producción en el ámbito social y económico será posible determinar la factibilidad del proyecto planteado

### **3.5 La producción de papaya en México**

La papaya (*Carica papaya* L.) es una especie originaria de América Central (Storey, 1976) que pertenece a las Caricáceas, una familia compuesta por 6 géneros. La papaya pertenece al género *Carica*, de la cual es la única representante. En México la superficie sembrada de papaya es de 16,228 hectáreas con una producción aproximada de 616,228 toneladas. La superficie de riego es de 12,963 hectáreas. El estado de Veracruz es el que tiene la mayor superficie sembrada de papaya, con 2954 hectáreas, con un rendimiento de 29 ton/ha y una ganancia de \$3,912.00 por tonelada (SIAP, 2014).

En el estado de Morelos hay 117 hectáreas de papaya, con un rendimiento de 34 ton/ha, obteniendo una ganancia de \$4,788 por tonelada (SIAP, 2014).

#### **3.5.1 Requerimientos Edafoclimáticos**

El papayo, prospera en toda la tierra caliente, en un clima tropical o subtropical, desde el cálido más seco de los subhúmedos hasta la variante húmeda del clima subhúmedo, se adapta a una temperatura media anual de 20 a 25 °C.

Suelo. Se desarrolla en diferentes tipos de suelo siempre que sean fértiles, blandos, profundos y permeables con un pH de 5.5 a 7. Suelos: sedimentario, café-rocoso, rojizo-no profundo, areno-arcilloso. No tolera el encharcamiento, aún por pocas horas. Es recomendable sembrar en terrenos con una pendiente menor al 5% para poder realizar las labores de mecanización (Arroyo, 2003).

Altitud. La papaya puede cultivarse desde 0 hasta 100 msnm, en México se distribuye por el Golfo desde Tamaulipas hasta la Península de Yucatán, por el

Pacífico se le encuentra desde Baja California a Chiapas, a una altitud que va de los 0 hasta los 1,000 msnm.

Agua. El cultivo de papaya se desarrolla en zonas donde la precipitación media es de 1,500 mm anuales. Los requerimientos de agua varían por la etapa fenológica y la zona donde se ubique el cultivo.

### **3.5.2 Los sistemas de riego en el cultivo de papayo**

En México se emplearon inicialmente sistemas de riego por micro aspersión, con excelentes resultados, pero debido a que se requieren más labores de mantenimiento, incrementando el costo de producción, se optó por innovar con un sistema de riego más eficiente; por lo cual y considerando la experiencia del manejo del cultivo en otras regiones como en Belice, donde las compañías involucradas en la producción de papayo tienen en sus fincas sistemas de irrigación por goteo con excelentes resultados, sin embargo, presentan problemas en el manejo del agua, provocando que la aplicación y distribución del agua no sea uniforme, pues se tiene un ineficiente manejo de la hidráulica del suelo. Es por eso que al momento de realizar un diseño de un sistema de riego se debe considerar el tipo de suelo en el que se va a emplear, para evitar este tipo de problemas.

El sistema de riego por goteo es el más eficiente para el cultivo de papaya, ya que consiste en aplicar el agua cerca de las raíces manteniendo una buena humedad en toda el área de cultivo. La ventaja del sistema de riego es la mayor eficiencia para facilitar la disponibilidad de agua para la planta siempre y cuando se tenga un buen mantenimiento del sistema de riego para que esté libre de fugas y no se tapen los goteros. La desventaja de este sistema de riego son los altos costos de inversión y no puede utilizarse agua de mala calidad, especialmente aguas duras ya que forman incrustaciones que tapan los goteros o reducen su efectividad,

requiriendo mantenimiento periódico lo que eleva los costos de producción (Casaca, 2005).

Debido a todos los problemas que se han detectado en los diferentes sistemas de producción de papaya, y en especial de los sistemas de riego empleados, es necesario realizar un manual de diseño de sistemas de riego por goteo donde se tomen todos los parámetros para mantener una humedad adecuada tanto en cantidad como en tiempo de acuerdo a su etapa fenológica.

#### **IV. GUÍA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO**

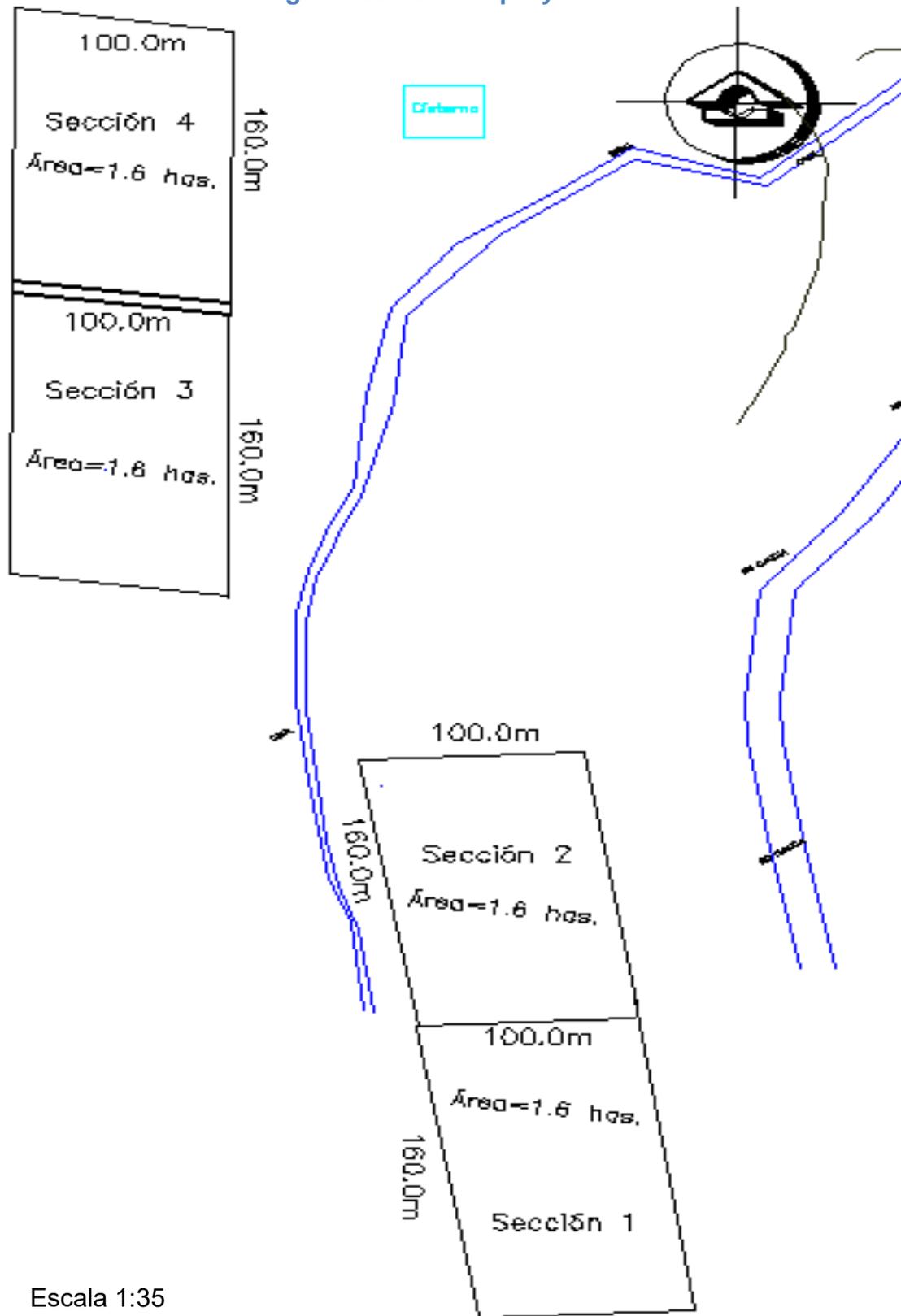
Para facilitar la comprensión en el diseño de sistemas de riego por goteo, se tomó como estudio de caso un cultivo de papaya en el municipio de San Rafael Tlaltizapan, en el estado de Morelos.

Ubicación geográfica del proyecto.

El sistema de producción considerado se localiza en el municipio de San Rafael, Tlaltizapan, en el estado de Morelo. El predio pertenece a la empresa Citrofrut S.A. DE C.V., y cuenta con 4 módulos, cada uno con superficie de 1.6 hectáreas (Figura 1).

Los módulos de producción cuentan con un marco de plantación de dos metros entre plantas y tres metros entre surcos.

Figura 1. Plano del proyecto.



Escala 1:35

Fuente: Citrofrut S.A DE C.V., 2015.

## 4.1 Características del Terreno

La latitud del terreno se debe considerar para realizar los cálculos de requerimiento de agua, así como la altura sobre el nivel del mar. Las coordenadas geográficas son: 18°34'55" Latitud Norte y 099°02'41" Longitud Oeste. Con una altura sobre el nivel del mar de 925 metros. Debido a las condiciones accidentadas de la zona, la altura particular del terreno se midió con un reloj con altímetro.<sup>2</sup>

Para determinar el desnivel se ubicó el punto más alto del terreno, se tomó la altura sobre el nivel del mar con reloj con altímetro; posteriormente se ubicó el punto más bajo del terreno y nuevamente se tomó la altura con el reloj de altímetro. El terreno presenta un desnivel de 13 metros.

Este parámetro se consideró porque al momento de trazar las líneas de conducción de agua se deben realizar en dirección a la pendiente, en este caso la fuente de almacenamiento de agua se ubica en una parte baja, con una altura a vencer de 13 metros al punto más alto lo que incrementa el caballaje requerido en la bomba.

El tipo de suelo sirvió para determinar la velocidad de infiltración, la capacidad de almacenamiento, parámetros que se requieren para evitar encharcamientos al momento de calcular la precipitación horaria.

El tipo de suelo del terreno es franco-arcilloso, y fue proporcionado en un estudio realizado por la empresa productora.

## 4.2 Condiciones agroclimáticas

Las condiciones agroclimáticas se toman en cuenta para llevar a cabo la determinación de gasto de agua de un cultivo (evapotranspiración), para ello se puede hacer uso de los datos que ofrece el Servicio Meteorológico Nacional, en el

---

<sup>2</sup> Reloj marca Tissot. Modelo T-Touch II Multifunción caucho.

cual se ubican las normales climáticas en las diversas regiones geopolíticas del país. Considerando que esta guía toma como referencia el cultivo de papaya, en el municipio de San Rafael Tlaltizapan, en el estado de Morelos, se toma como referencia la estación climática más cercana, que es la de San Pablo, Hidalgo, Morelos. Los datos se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional, se muestran en la Tabla siguiente:

Tabla 3. Estación: 00017056 SAN PABLO HIDALGO

Promedios mensuales (1980-2010)					
Mes	T. Máxima (°C)	T. Media (°C)	T. Mínima (°C)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	36.5	21.7	10.8	8.1	119.5
Febrero	38.5	23.2	12.5	5.1	143.2
Marzo	41.7	25.6	14.4	3.6	203.9
Abril	44.6	28	17.4	9.6	226.3
Mayo	43.2	28.7	19.3	55	221.5
Junio	39.9	27.2	19.8	179.4	174.9
Julio	36.6	25.5	18.6	176.5	154.6
Agosto	37.9	25.6	18.5	154.7	151.3
Septiembre	35.5	25.1	18.4	165.9	135.4
Octubre	35.5	24.7	16.6	55.6	132.1
Noviembre	36.5	23	13.4	8.8	115.1
Diciembre	38	21.7	11.2	5.4	110.2
Media	38.7	25	15.9	827.7	1888

Fuente: Elaboración propia, 2015. Con datos de Normales climáticas de 1980-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

El clima predominante en la zona es subtropical húmedo, con una precipitación anual de 827 mm. El mes con mayor precipitación es Junio y la temperatura más baja se presenta en el mes de Enero; asimismo, la presencia de heladas y granizo son nulas en la zona.

El cálculo de la evapotranspiración (ETP) se realizó a partir de la ecuación de Thornthwaite es:

$$ET = 1.6 \left( \frac{10T}{I} \right)^a (FC)$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.4924$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1.514}$$

ET = Evaporación mensual (cm)

T = Temperatura media mensual (°C)

I = Índice estacional de calor

a = Exponente que depende del índice estacional de calor

Fc = Factor de corrección que depende de la latitud del lugar (Tabla 4)

Ti = Temperatura media mensual (°C)

Tabla 4. Factor de corrección de la ecuación Doorenbos y Pruitt.

Lat. N.	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
<b>20</b>	<b>0.95</b>	<b>0.9</b>	<b>1.03</b>	<b>1.05</b>	<b>1.13</b>	<b>1.11</b>	<b>1.14</b>	<b>1.11</b>	<b>1.02</b>	<b>1</b>	<b>0.93</b>	<b>0.94</b>
25	0.93	0.89	1.03	1.15	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
26	0.92	0.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
27	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	0.99	0.9	0.9
28	0.91	0.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	0.98	0.9	0.9
29	0.91	0.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	0.98	0.9	0.89
30	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.2	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
31	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.12	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
32	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	0.98	0.88	0.87
33	0.88	0.86	1.03	1.09	1.19	1.2	1.22	1.15	1.03	0.97	0.88	0.86

Fuente: Roldan, 1995.

Los valores que se tomaron de la Tabla 4, fueron los que corresponden a la Latitud Norte 20°, porque la estación San Pablo Hidalgo se ubica a 18°34'55" Latitud Norte. Al tener estos valores, se procedió a sustituir los valores para calcular la ETP, estableciendo los volúmenes de pérdida de agua, conforme a ubicación, temperatura y el factor de corrección, lo cual se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Cálculo de ETP.

Mes	T. Media (°C)	I.	Fc	ETP (cm)	ETP (mm)
Enero	21.7	9.23	0.95	13.35	133.50
Febrero	23.2	10.21	0.90	12.35	123.50
Marzo	25.6	11.85	1.03	13.65	136.50
Abril	28	13.58	1.05	13.48	134.80
Mayo	28.7	14.09	1.13	14.38	143.81
Junio	27.2	12.99	1.11	14.40	144.00
Julio	25.5	11.78	1.14	15.13	151.30
Agosto	25.6	11.85	1.11	14.71	147.10
Septiembre	25.1	11.50	1.02	13.61	136.10
Octubre	24.7	11.23	1.00	13.42	134.20
Noviembre	23	10.08	0.93	12.80	128.00
Diciembre	21.7	9.23	0.94	13.21	132.10
Total	300	137.63	12.31	164.48	1644.8
Media	25	11.4	1.02	13.70	137.00
a = 0.68					

Fuente: Elaboración propia, 2015. Con datos de las normales climáticas del Servicio Meteorológico Nacional 1980-2010.

### 4.3 Fuente de abastecimiento de agua

La fuente de abastecimiento de agua sirve para determinar la disponibilidad de este elemento, el cual permitirá determinar la capacidad del sistema de riego, el tiempo que debe funcionar para proporcionar el agua necesaria y el sistema de filtrado.

Para este proyecto en particular se consideró el río Yautepec, que llega hasta el pueblo de Bonifacio García, y de este punto en adelante toma el nombre de Río Verde, el río recoge las aguas de los manantiales de las Estacas, lo que aumenta su caudal; este río recibe las aguas del río Dulce, por la parte baja del municipio, el río Salado de Temilpa; es pequeño en extensión, pues apenas cuenta con dos kilómetros de recorrido, pero es muy grande su caudal.

El predio se localiza a un costado del río, por lo que se conduce al rancho mediante un canal revestido, a lo largo del cual se ubican una serie de compuertas y mallas para retener al máximo las impurezas del agua. Debido a la superficie del área de cultivo y las necesidades hídricas del cultivo, Citrofrut cuenta con un depósito de almacenaje con capacidad de 1000 m<sup>3</sup>, la capacidad de conducción del canal es de 10.0 l/seg., cabe mencionar que no se requiere de una bomba para llenar la cisterna. Este río es la única fuente de agua que se tiene en el predio.

La conductividad eléctrica del agua se considera para poder realizar el cálculo de requerimiento de lavado del sistema de riego, que se realizará más adelante; se debe tomar en cuenta la conductividad eléctrica del agua, para determinarla se tomaron 10 muestras medidas con un medidor de conductividad portátil<sup>3</sup>, las muestras fueron tomadas de la cisterna donde se almacena el agua. El resultado promedio fue de 1.2 (1200 micromhos/cm). Al saber que el predio cuenta con agua disponible, y de buena calidad, se realizó un estudio socioeconómico para saber si es viable el proyecto.

#### **4.4 Estudios socioeconómicos**

El capital disponible para el proyecto, así como el tipo de propiedad sirven para establecer la calidad de los materiales a emplear en el sistema, al ser este un proyecto guía se consideró que la empresa cuenta con capital suficiente para solventar los gastos necesarios para establecer un sistema de riego de alta tecnología.

Citrofrut S.A. DE C.V. es la empresa donde se realizó el estudio para poder realizar la guía y el diseño, esta empresa cuenta con el terreno, que es propiedad privada.

---

<sup>3</sup> Medidor de conductividad eléctrica portátil marca HACH, modelo HQ14d

## 4.5 Estudios Técnicos para el diseño del sistema de riego

Los estudios técnicos, serán referenciados a la Empresa Citrofrut S.A. de C.V., donde se llevaron a cabo los trabajos de diseño e implantación de un sistema de riego.

### 4.5.1 Determinación del tipo de suelo.

Al tener el cultivo ya establecido, este predio contaba con un análisis de suelo, el cual fue proporcionado por la empresa productora, la textura del suelo es franco-arcilloso<sup>4</sup>, la humedad disponible del suelo es de 16.5 cm y se determinó con la (Tabla 6). Este valor se utiliza posteriormente para calcular la lámina neta.

Tabla 6. Humedad disponible en el suelo

Textura	Lámina de agua disponible en el suelo/m de suelo (cm)
Arenoso	8.5
Franco arenoso	11
Franco	17
Franco arcilloso	16.5
Arcilloso arenoso	15.6
Arcilloso	14.5

Fuente: Roldan, 1995.

La capacidad de infiltración del suelo se obtuvo de la Tabla 7 de capacidades de infiltración básica de las referencias de texturas.

---

<sup>4</sup> Estudio realizado por Citrofrut.

Tabla 7. Capacidades de infiltración básica de las referencias de texturas.

Textura	Capacidad de infiltración (cm/hr)
Arenoso	1.3- 2.5
Franco arenoso	0.9 - 1.3
Franco limoso	0.6 - 1.0
Franco arcilloso	0.4 - 0.8
Arcilloso	Menor de 0.4

Fuente: Roldan, 1995.

La capacidad de infiltración de un suelo franco arcilloso es de 0,5 cm/hr. Valor utilizado para el determinar si la precipitación horaria (PPH) se encuentra en este rango. Al tener una PPH de 2.2 mm/hr (valor calculado más adelante) en un suelo con una capacidad de infiltración de 0.5 cm/hr, significa que el suelo no tendrá encharcamientos.

#### 4.5.2 Cálculos para la determinación de requerimientos de agua

Cálculo de lámina neta.

$Ln = (Lad) (F)$  donde:

$Ln$  = Lámina neta (cm)

$Lad$  = Lámina de agua disponible (cm) en el suelo por metro de suelo (Tabla 6).

$F$  = Factor de abatimiento del cultivo (Tabla 8).

Para poder llevar a cabo el cálculo de requerimiento de agua, también es importante contar con un factor de abatimiento de agua, el cual, conforme a la Tabla 8, para el cultivo de papayo, es de 0.6.

Tabla 8. Factores de abatimiento de la humedad disponible en el estrato de suelo explorado por los cultivos.

Cultivos	Factor	Cultivos	Factor
Alfalfa	0.5	Chícharo	0.5
Apio	0.25	Pastizales	0.5
Lechuga	0.25	Tabaco	0.5
Caña de azúcar	0.25	Col, coliflor	0.25
Cebolla y betabel	0.25	Papa	0.25
Zanahoria	0.25	Vid	0.25
Cítricos	0.5	Jitomate	0.5
Fresa	0.25	Sorgo	0.75
Plátano	0.5	Maíz	0.75
Papaya	0.6	Alfalfa	0.8

Fuente: Roldan, 1995.

Al tener los valores, de las Tablas 6 y 8, se sustituyen en la fórmula, obteniendo el resultado siguiente:

$$L_n = (L_{ad}) (F), \quad L_n = (16.5) (0.6) = 9.9 \text{ cm}$$

Lámina bruta. Para determinarla se tomó en cuenta la eficiencia de la aplicación de riego y el requerimiento de lavado.

$$L_b = \frac{L_n}{1 - RL} \quad RL = \frac{CEa}{CEm} \quad \text{donde:}$$

$L_b$  = Lámina bruta (cm/mes)

$L_n$  = Lámina neta (cm)

$E$  = Eficiencia de aplicación del sistema de riego (Tabla 9)

$RL$  = Requerimiento de lavado

$CEa$  = Conductividad eléctrica del agua de riego (micromhos/cm =  $\mu\text{mhos/cm}$ )

$CEm$  = Conductividad eléctrica máxima tolerable por el cultivo (Tabla 10)

Como se mencionó en Características del terreno, San Rafael Tlaltizapan cuenta con un clima subtropical húmedo; con base a este dato se seleccionó 0.9% de

eficiencia en la aplicación del riego como se muestra en la Tabla 9. Este valor sirve para calcular la lámina bruta que se realizará más adelante.

Tabla 9. Eficiencia de la aplicación del riego por goteo en función del medio ambiente.

Medio ambiente	Eficiencia (%)
Húmedo	0.9
Seco	0.8

Fuente: Roldan, 1995.

Con base a los datos de la Tabla 10, se obtuvo la conductividad eléctrica máxima tolerable por el cultivo de papaya, teniendo 3,500 micromhos/cm. Este valor se utiliza para calcular el requerimiento de lavado.

Tabla 10. Conductividad eléctrica máxima tolerable por lo cultivos con una disminución en su rendimiento de 10 %.

Cultivo	C.E. (micromhos/cm)	Cultivo	C.E. (micromhos /cm)
Cebada	12,000	Camote	10,000
Algodón	10,000	Cártamo	7000
Trigo	7000	Sorgo	6000
Soya	6000	Melón	4000
Vid	4000	Manzana	3000
Cítricos	3000-9000	Papaya	3500
Zarzamora	2000	Tomate	4000
Aguacate	2000	Pimiento	2000
Espinaca	6000	Alfalfa	3000
Centeno	8000	Maíz	5000
Trébol	2000	Pera	3000

Fuente: Roldan, 1995.

Como se había mencionado en Fuentes de abastecimiento de agua, la conductividad eléctrica del agua disponible es de 1.2 dS/m (deciSiemens por metro = 1200 micromhos/cm). Por consiguiente al sustituir en la fórmula de requerimiento de lavado se obtuvo el siguiente resultado:

$RL = \frac{1200}{3500} = 0.34$ ; este resultado sirve para calcular la lámina bruta, que es el siguiente paso.

El resultado del cálculo de la lámina bruta fue el siguiente:

$$Lb = \frac{\frac{ln}{E}}{1-RL} \quad Lb = \frac{\frac{9.9cm}{0.9}}{1-0.34} = 16.6 \text{ cm/mes}$$

Uso consuntivo

Al saber los requerimientos hídricos de la planta, y las condiciones climáticas de la zona se procedió al cálculo del uso consuntivo (demanda máxima), con fundamento en los datos de las normales climáticas del servicio meteorológico nacional, para la determinación de la lámina de riego.

Demanda máxima.

$$D = \frac{Et - Pe}{10} \quad \text{dónde:}$$

D = Demanda máxima (mm/diarios)

ET = Evapotranspiración (mm)

Pe = Precipitación efectiva (mm)

Para calcular la demanda máxima primero se calculó la precipitación efectiva, la cual se obtuvo por el método de Doorenbos y Pruitt que consiste en ubicar en la Tabla 11 con la información de la precipitación media mensual (mm), la evapotranspiración del cultivo (mm/mes) y seleccionando la interacción de los valores, multiplicada por el factor de corrección para la precipitación efectiva por el método de Doorenbos y Pruitt (Tabla 12).

El valor de 126 de la Tabla 11 se obtuvo con la interacción de la lluvia mensual máxima que fue de 179.4 mm y la evapotranspiración máxima que fue de 151.28 mm (Tabla 5). Este valor sirve para calcular la precipitación efectiva.

Tabla 11. Precipitación efectiva mensual en función de la ETP del cultivo y la lluvia observada por el método de Doorenbos y Pruitt.

Lluvia mensual mm	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100	112.5	125	137.5	150	162.5	175	187.5	200
	Lluvia efectiva mensual mm															
25	8	16	24													
50	8	17	25	32	39	46										
75	9	18	27	34	41	48	56	62	69							
100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100			
125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116	120	
150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133
175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	<b>111</b>	118	126	134	141
200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	142	150
225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159
250	12	25	27	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167

Fuente: Roldan, 1995.

El factor de corrección de 0.93 obtenido de la Tabla 12 corresponde a la capacidad de almacén de un suelo franco arcilloso, obtenido en Características del terreno. Este valor sirve para calcular la precipitación efectiva.

Tabla 12. Factor de corrección para la precipitación efectiva por el método de Doorenbos y Pruitt.

Capacidad de almacén de agua del suelo (mm)	Factor
20	0.75
25	0.77
37.5	0.86
<b>50</b>	<b>0.93</b>
62.5	0.97
75	1
100	1.02
125	1.05
150	1.06
175	1.07
200	1.08

Fuente: Roldan, 1995.

Sustituyendo los valores, el resultado fue el siguiente:

$$Pe = 111 \times 0.93 = 103.23 \text{ mm}$$

Al tener el valor de la precipitación efectiva, se sustituyó en la fórmula para obtener la demanda máxima del cultivo, considerando que la ETP del cultivo calculada en la Tabla 5, indica que el cultivo tiene una demanda máxima de 170.6 mm en el mes de Mayo, y una precipitación efectiva de 117.8 mm, obteniendo como resultado:

$$D = \frac{Et - Pe}{10}; D = \frac{151.28 - 103.23}{10} = 4.8 \text{ mm}$$

Una vez obtenida la necesidad máxima del cultivo, y también la lámina neta que está en función del suelo, se calculó el intervalo de riegos:

$$IR = \frac{Ln}{D} \text{ donde:}$$

IR = Intervalo entre riegos (días)

Ln = Lámina neta (mm)

D = Demanda máxima (mm/día)

Obteniendo como resultado:

$$IR = \frac{9.9}{4.8} = 1.23$$

El resultado anterior debe redondearse al número inmediato inferior, lo que indica que el riego debe ser diario.

#### **4.6 Determinación del sistema de riego para el cultivo de papaya, en Tlaltizapan, Morelos**

Una vez calculadas las necesidades hídricas del cultivo, se realizaron los cálculos hidráulicos para el diseño del sistema de riego.

Al concluir los cálculos de requerimiento de agua, se seleccionó el tipo de emisor que cumpla con las necesidades hídricas del cultivo, considerando que es un sistema de riego por goteo el que se pretende implementar, se buscó información comercial para determinar que producto se adapta más a las necesidades de la planta. La búsqueda de la manguera de goteo se realizó en Netafim porque es considerada la empresa número uno a nivel mundial en riego por goteo.

##### **Determinación de emisores del sistema de riego**

Para la determinación de las marcas comerciales de los elementos a emplear en el diseño, se tomaron en cuenta marcas israelíes, que son los que tienen la mayor tecnología en componentes para sistemas de riego. Se deben seleccionar los elementos considerando el mayor gasto que se tiene de una sección, ya sea en l/s o m<sup>3</sup>/hr y que cumpla con las necesidades hídricas del cultivo.

El cultivo requiere 4.8 mm diarios, entonces se seleccionó una manguera de goteo que cumpla con esa necesidad en el menor tiempo posible, para este caso fue una manguera de la marca Netafim con gotero integrado, autocompensado de 2 lt/hr a cada 60 cm (Dripnet<sup>5</sup>). Considerando la distancia entre plantas a 2 metros. Se utilizaron 2 líneas de manguera por cama para tener una mejor distribución del agua alrededor de la planta y evitar un estrés hídrico a la planta.

Una vez calculado el gasto del gotero y el acomodo de los emisores, se calculó la Precipitación horaria (PPH), se calculó con la siguiente formula:

---

<sup>5</sup> Manguera de goteo 20 mm, calibre 4<sup>o</sup> milésimas de pulgada). Rango de presión de 5 a 39 mca, manteniendo un gasto constante.

$$PPH = \frac{Q \text{ (gasto en lt/hr)}}{\text{Distancia entre líneas} \times \text{distancia entre emisores}}$$

El resultado del cálculo de la "Precipitación horaria" (PPH) fue el siguiente:

$$PPH = \frac{4 \text{ l/hr}}{3m \times 0.6m} = 2.2 \text{ mm/hr}$$

Esto significa que al tener una precipitación horaria de 2.2mm/hr, entonces, se requieren 2.18 horas para aplicar 4.8 mm al día que son los requerimientos de la planta; por lo que se necesitan 8.7 horas para regar 6.4 hectáreas, considerando que la superficie a regar se dividirá en 4 sectores cada uno con una superficie de 1.6 hectáreas para ahorrar tiempos y que la planta lo aproveche de la mejor manera.

#### **Determinación del caudal de la sección o módulo a regar**

Las secciones o módulos a regar tienen una superficie de 100 x 160 metros; se tienen 33 camas con doble manguera, por tanto se requieren 10,560 metros de manguera, con un gotero cada 60 cm se obtuvo un total de 17,600 goteros, con un gasto de 2 l/h cada uno, da un total de 35,200 lt/hr, entonces cada sección tiene un gasto de 9.77 lt/seg, igual a 35.2m<sup>3</sup>/hr.

#### **Determinación de materiales de conducción de agua**

Una vez determinado el gasto máximo por sección, se deben calcular y seleccionar los materiales que cumplan con esa necesidad de flujo. En el presente trabajo, las secciones o módulos ya estaban ubicados, porque el cultivo ya estaba establecido, así como la fuente de agua, por lo que el trazo de líneas de conducción de agua se realizó siguiendo los caminos que enlazan los módulos.

Para calcular el diámetro de las tuberías a emplear se debe ubicar la fuente de almacenamiento de agua que es el lugar más recomendable para colocar el

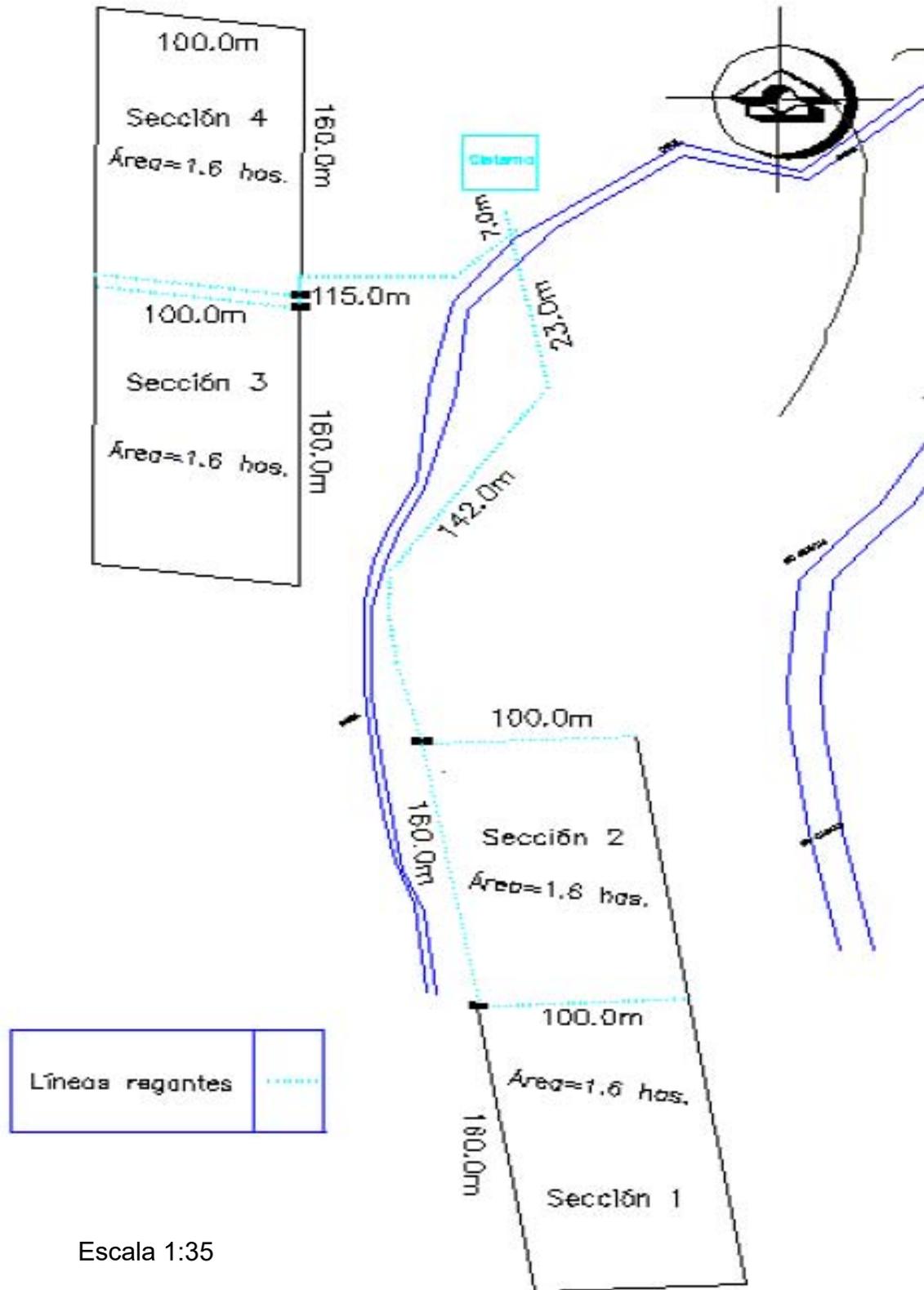
cabeza de riego, y así sacar la longitud de las tuberías para poder los cálculos y determinar qué tubería se requiere de acuerdo a las velocidades máximas y pérdidas de fricción máximas mencionadas anteriormente en Estudios técnicos para el diseño del sistema de riego.

El diámetro a emplearse debe cumplir con las necesidades de flujo, considerando una velocidad en línea principal menor de 1.8 m/s y una pérdida de fricción mejor al 10% de la unidad de bombeo, a la válvula de sección.

Diámetro de las tuberías. Al tener trazadas las líneas de conducción de agua y saber las distancias como se muestra en la Figura 2, se realizaron los cálculos para determinar el diámetro adecuado para el sistema.

Al momento de calcular el diámetro, se debe empezar por el punto más alejado a la unidad de bombeo.

Figura 2. Plano del terreno con líneas de conducción de agua.



Fuente: Elaboración propia. 2015.

Para calcular el diámetro se debe considerar la distancia a la unidad de bombeo, el diámetro nominal e interior y el gasto en l/seg., para sustituirlos en la ecuación de Hazen-Williams, considerando una velocidad en línea principal menor de 1.8 m/s, y 3.5 m/s en línea secundaria para disminuir la presencia de un golpe de ariete, y una pérdida de fricción menor al 10% de la unidad de bombeo, a la válvula de sección; la ecuación de Hazen-Williams es la siguiente:

$$H_f = 1.1361 \times 10^6 \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} L$$

$H_f$  = Pérdidas de carga por fricción (mca)

$Q$  = Caudal (lt/seg)

$D$  = Diámetro interior de la tubería (mm) (Tabla 13)

$L$  = Longitud de la tubería (m)

La velocidad se calculó usando la igualdad de  $Q = AV$

$$V = 1.273 \frac{Q}{D^2}$$

$V$  = Velocidad media (m/s)

$D$  = Diámetro interior (mm)

$Q$  = Gasto (l/s)

Con base a los datos de la Tabla 13, se selecciona el diámetro nominal y el diámetro interior y se sustituyen en la ecuación de Hazen-Williams.

En la siguiente Tabla se pueden observar los diámetros para el cálculo de  $h_f$  y velocidad:

Tabla 13. Diámetros tubería de PVC.

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Presión de trabajo a 23°C (kg/cm <sup>2</sup> )
1/2	16	11.1
3/4	21	11.1
1	27	11.1
1 1/4	35	11.1
1 1/2	41	11.1
2	55	11.1
2 1/2	62	11.1
3	84	11.1
4	108	11.1
6	154	11.1
8	202	11.1

Fuente: Elaboración propia, 2015. Con datos de Cresco, 2015.

### Selección de diámetro a emplear para conducción de agua.

Se seleccionaron diferentes diámetros y se realizó el cálculo de Hf y velocidad, tomando en cuenta 9.77 l/s que es el gasto mayor y el mismo para cada sección, los resultados se muestran en la tabla 14, se determinó que el diámetro de 4" debe emplearse porque la pérdida de presión en este diámetro es baja, además de que la velocidad es de 1.07 m/s y es menor a 1.8 m/s que es el máximo permitido en línea principal.

A pesar de que la velocidad de la tubería en 3" no supera la velocidad permitida de 1.8 m/s, se seleccionó la tubería de 4", porque con el diámetro de 3" es más probable que ocurra un golpe de ariete porque su velocidad es de 1,76 m/s, además de que la pérdida de 10.9 mca supera el 10% permitido.

Tabla 14. Cálculo de diámetro de tubería principal al primer módulo o sección.

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Gasto (l/s)	Distancia (m)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
3	84	9.77	332	10.9	1.76
4	108	9.77	332	3.2	1.06
6	154	9.77	332	0.6	0.52

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Se seleccionaron diferentes diámetros y se realizó el cálculo de Hf y velocidad, tomando en cuenta 9.77 l/s que es el gasto de esta sección, los resultados se

muestran en la tabla 15, se determinó que el diámetro de 4" debe emplearse porque la pérdida de presión en este diámetro es baja, además de que la velocidad es de 1.06 m/s y es a 1.8 m/s que es el máximo permitido en línea principal.

Tabla 15. Cálculo de diámetro de tubería principal al segundo módulo o sección.

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Gasto (l/s)	Distancia (m)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
3	84	9.77	172	5.63	1.76
4	108	9.77	172	1.65	1.06
6	154	9.77	172	0.29	0.52

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Se seleccionaron diferentes diámetros y se realizó el cálculo de Hf y velocidad, tomando en cuenta 9.77 l/s que es el gasto para esta sección, los resultados se muestran en la tabla 16, se determinó que el diámetro de 4" debe emplearse porque la pérdida de presión en este diámetro es menor al 10%, además de que la velocidad es de 1.06 m/s y es menor a 1.8 m/s que es el máximo permitido en línea principal.

Tabla 16. Cálculo de diámetro de tubería principal al tercer módulo o sección.

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Gasto (l/s)	Distancia (m)	Hf (m)	Velocidad (m/s)
3	84	9.77	131	4.29	1.76
4	108	9.77	131	1.26	1.06
6	154	9.77	131	0.22	0.52

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Se seleccionaron diferentes diámetros y se realizó el cálculo de Hf y velocidad, tomando en cuenta 9.77 l/s que es el gasto para esta sección, los resultados se muestran en la Tabla 17, se determinó que el diámetro de 4" debe emplearse porque la pérdida de presión de 1.25 mca en este diámetro es menor al 10%, además de que la velocidad es de 1.06 m/s y se es menor a 1.8 m/s que es el máximo permitido en línea principal.

Tabla 17. Cálculo de diámetro de tubería principal al cuarto módulo o sección.

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Gasto (l/s)	Distancia (m)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
3	84	9.77	130	4.26	1.76
4	108	9.77	130	1.25	1.07
6	154	9.77	130	0.22	0.52

Fuente: Elaboración propia, 2015.

El cálculo de la línea secundaria se debe multiplicar por el factor de salidas, y se suma a la hf sin el factor. Como se mencionó anteriormente, se seleccionaron dos líneas de goteo por surco, dando un total de 66 salidas o laterales en línea secundaria, con base a este dato se obtuvo el factor de 0.335 como se muestra en la Tabla 18.

Se seleccionó 0.335 como factor de salidas porque 66 líneas o laterales son las que se tienen en cada sección, y este factor incluye laterales o salidas entre 51 y 100.

Tabla 18. Factor de corrección con laterales.

Número de laterales	Factor	Número de laterales	Factor
1	1	16	0.365
2	0.675	17	0.363
3	0.518	18	0.361
4	0.469	19	0.36
5	0.44	20	0.359
6	0.421	22	0.357
7	0.408	24	0.355
8	0.398	26	0.353
9	0.391	28	0.351
10	0.385	30	0.35
11	0.38	35	0.347
12	0.376	40	0.345
13	0.376	50	0.343
14	0.37	<b>100</b>	<b>0.335</b>
15	0.376	más de 100	0.333

Fuente: Roldan, 1995.

Las líneas secundarias tienen la misma distancia en los 4 módulos y el gasto es el mismo. Para determinar el diámetro a emplear se seleccionaron diferentes diámetros y se realizó el cálculo de hf y velocidad, tomando en cuenta 9.77 l/s que es el gasto para cada sección, los resultados se muestran en la Tabla 19, se determinó que el diámetro de 3" debe emplearse porque la pérdida de presión de se ubica en el rango permitido, además de que la velocidad es de 1.76 m/s es menor a 3.5 m/s que es el máximo permitido en línea secundaria; en la Tabla 19 se puede observar cálculo del diámetro de la línea secundaria:

Tabla 19. Cálculo de diámetro de tubería secundaria.

Línea secundaria						
Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Gasto (l/s)	Distancia (m)	Hf (mca)	Hf c/factor (mca)	Velocidad
3	84	9.77	100	3.28	4.36	1.76
4	108	9.77	100	0.96	1.28	1.07
6	154	9.77	100	0.17	0.22	0.52

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Con fundamento en estos cálculos se determinó que el diámetro de la tubería secundaria a emplear es de 3", considerando las velocidades y pérdidas de presión máximas para línea secundaria.

- **Calculo de diámetro de manguera de goteo**

La manguera de goteo ya se seleccionó, sin embargo hay que determinar el diámetro a emplear, estas tienen un diámetro nominal de 16, 17 y 20 mm. Como se mencionó anteriormente, la manguera de goteo selecciona fue Drip Net, de la marca Netafim, para calcular el diámetro de esta manguera la empresa Netafim proporcionó un programa para realizar el cálculo, el programa se llama Hydrocal y se utiliza por computadora. Si no se cuenta con el programa, se puede realizar mediante tablas de la manguera de goteo (Anexo 1).

El cálculo se realizó seleccionando el tipo de manguera, la distancia entre goteros, el gasto de cada gotero y la longitud de la línea a regar, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Cálculo de  $H_f$  y Velocidad en línea de goteo.

**NETAFIM** Línea de Emisores-Datos

**Topografía**  
 Fija Pendier 0  
 No uniforme-cambiante

**Emisor**  
 Drip Line  
 Tipo: DRIFNET PC 20390  
 Espacio de los Emisores: 0.6 m

**Retrolavado**  
 Velocidad: m/s

**Material-Tubos**  
 Grado-Presion: 200 l/h  
 Caudal: 200 l/h  
 Presion: 12.41 m

Tipo-Tubo	Diam.Interno mm	KD	Exponent	K	Largo-Segmento m	Perdidas-Presion m	Velocidad m/s
	17.45	0.25	0	2	160	2.41	0.62

**Metodo de Calculo**  
 Largo-Linea de Emisores

**Total de Emisores**: 267  
**Largo Total**: 160 m  
**Perdidas-Presion-Acum**: 2.41 m  
**Final**: 10

Fuente: Elaboración propia. 2015.

El resultado de  $h_f$  fue de 2.41 mca y una velocidad de 0.62 m/s, que corresponden a una manguera de 20 mm. Esta manguera de 20 mm fue la seleccionada para el diseño porque la pérdida entre el primer y último gotero es menor al 30%.

- **Determinación de válvulas hidráulicas**

Una vez realizados los cálculos anteriores, se debe realizar el cálculo de las válvulas de control, y componentes del cabezal de riego. Estos elementos sirven para controlar las secciones, evitar rupturas en tubería por cavitación o golpes de

ariete que pueden dañar la unidad de bombeo, así como romper las mangueras de goteo por excesos de presión.

Los filtros, válvulas mariposa, válvulas check, válvulas ventosas, válvulas de control en general y componentes del cabezal se seleccionaron con base al caudal máximo requerido por sección y a la velocidad máxima menor a 2 m/s.

Tabla 20. Cálculo de diámetro de válvulas.

Válvulas					
Diámetro (in)	Diámetro interior (mm)	Gasto (l/s)	Distancia (m)	Hf (m)	Velocidad
3	84	9.77	1	0.0328	1.76
4	108	9.77	1	0.0096	1.07
6	159	9.77	1	0.0017	0.52

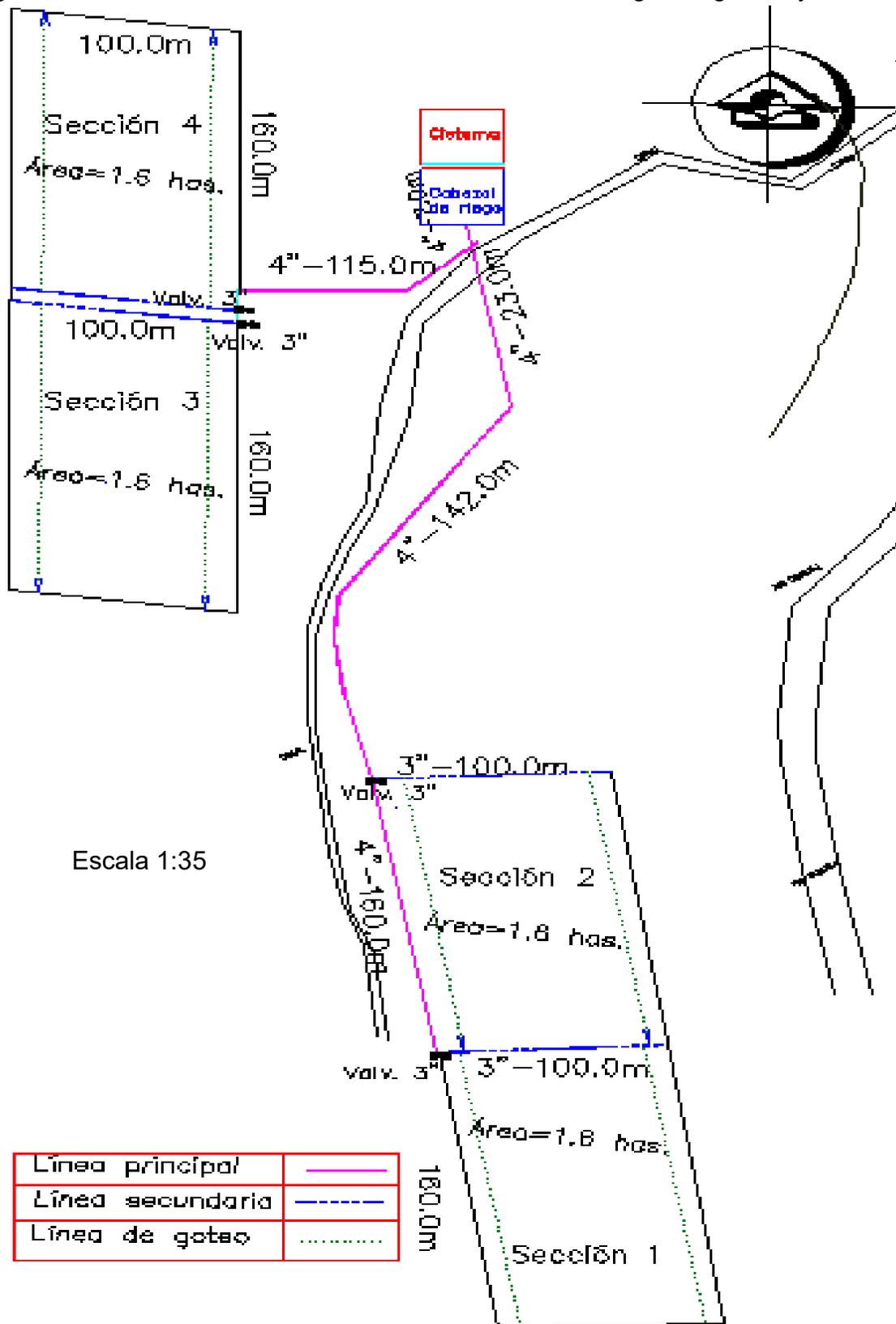
Fuente: Elaboración propia, 2015.

Como se muestra en la Tabla anterior, el diámetro de 3" se seleccionó porque no supera la velocidad de 2 m/s y la pérdida es mínima, con fundamento en esos datos se eligieron válvulas de 3" con su regulador de presión para mantener una presión constante y uniforme en cada sección.

Posteriormente se deben seleccionar el diámetro de las válvulas ventosas (Barak y Emek) para cada válvula reguladora de presión. Como se mencionó en estudios técnicos para el diseño de sistemas de riego, cada válvula reguladora de presión debe tener una válvula ventosa a la entrada y salida para la prevención de ruptura de tuberías por cavitación o golpe de ariete. Para este proyecto, se seleccionaron válvulas Barak y Emek de 2"

A continuación se elaboró un plano como se muestra en la figura 4, donde se pueden observar las líneas principales, secundarias, líneas de goteo y las válvulas de cada sección.

Figura 4. Plano del terreno con líneas de conducción de agua, regantes y válvulas



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Selección de componentes de cabezal de riego.

El cabezal de riego está compuesto por:

- Medidor de flujo
- Válvula mariposa
- Filtro
- Válvula de alivio de presión
- Válvula check

Se deben seleccionar considerando que la velocidad no debe ser mayor a 2 m/s, el flujo es de 9.77 l/s y la velocidad es de 1.76 m/s como ya se había calculado en el diámetro de válvulas de 3”.

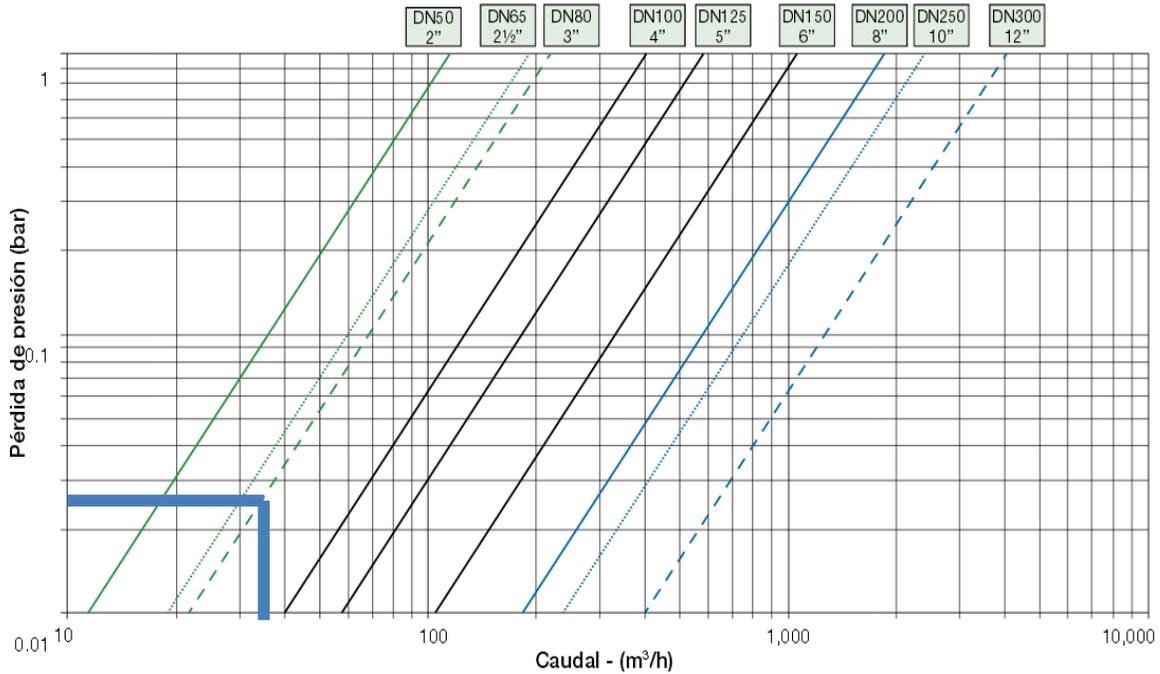
- Medidor de flujo

Para determinar el diámetro se utilizó la Figura 5, la cual se interpreta como un plano cartesiano; el eje de las “X” representa el flujo en  $\text{m}^3/\text{h}$ , el eje de las “Y” representa la pérdida de presión en bares, las líneas en diagonal representan el diámetro del medidor de flujo

Primero se ubicó el flujo que fue de  $35.17 \text{ m}^3/\text{h}$ , posteriormente se trazó una línea vertical como se muestra en la Figura, hasta que se intersecta con la línea en diagonal que representa el diámetro, en este caso el diámetro fue de 3” (80); la pérdida de presión se obtuvo al trazar una línea horizontal sobre el punto seleccionado, la pérdida fue de 0.025 bares, igual a 0.25 mca.

Figura 5. Pérdidas de carga en medidor de flujo.

### Diagrama de flujo del Turbo-IR-A

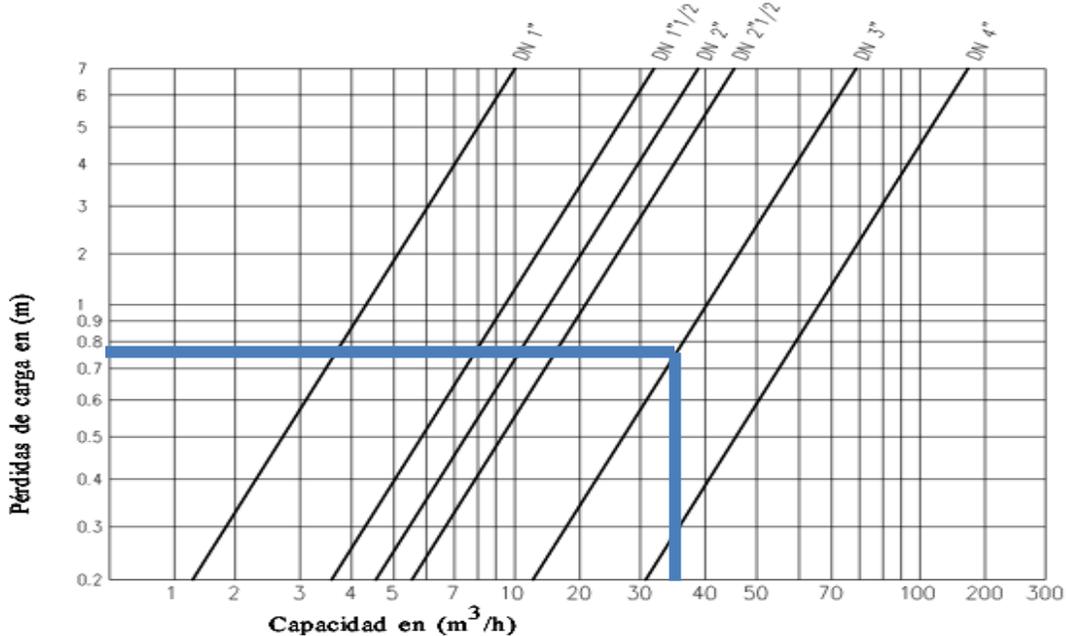


Fuente: Elaboración propia, 2015. Datos obtenidos de BERMAD, 2015.

- Válvula mariposa

Primero se ubicó el flujo que fue de  $35.17 \text{ m}^3/\text{h}$ , posteriormente se trazó una línea vertical como se muestra en la Figura 6, hasta que se intersecta con la línea en diagonal que representa el diámetro de 3", se seleccionó 3" porque como se había mencionado antes el diámetro de 3" no rebasa la velocidad permitida de 2 m/s. La pérdida se obtuvo al trazar una línea horizontal que interseca el flujo de  $35.17 \text{ m}^3/\text{h}$  y el diámetro de 3", la pérdida fue de 0.75 mca.

Figura 6. Pérdidas de carga en válvula mariposa.



Fuente: Elaboración propia, 2015. Datos obtenidos de AMIAD, 2015.

- Filtro

El filtro seleccionado fue de 3" porque tiene la capacidad de filtrar 35.17 m<sup>3</sup>/h y no supera la velocidad permitida.

Para calcular la pérdida de fricción en el filtro, se debe determinar la malla a utilizar en el filtro, esta quedó determinada con base al requerimiento de filtrado que necesita el gotero, en este caso el gotero requiere un filtrado de 200 micrones/80 mesh<sup>6</sup> como indica el Anexo 1 "Manguera DripNet. Máxima longitud de laterales a emplear". Se utilizó la Figura 7, la cual se interpreta como un plano cartesiano; el eje de las "X" representa el flujo en m<sup>3</sup>/h, el eje de las "Y" representa la pérdida de presión en bares.

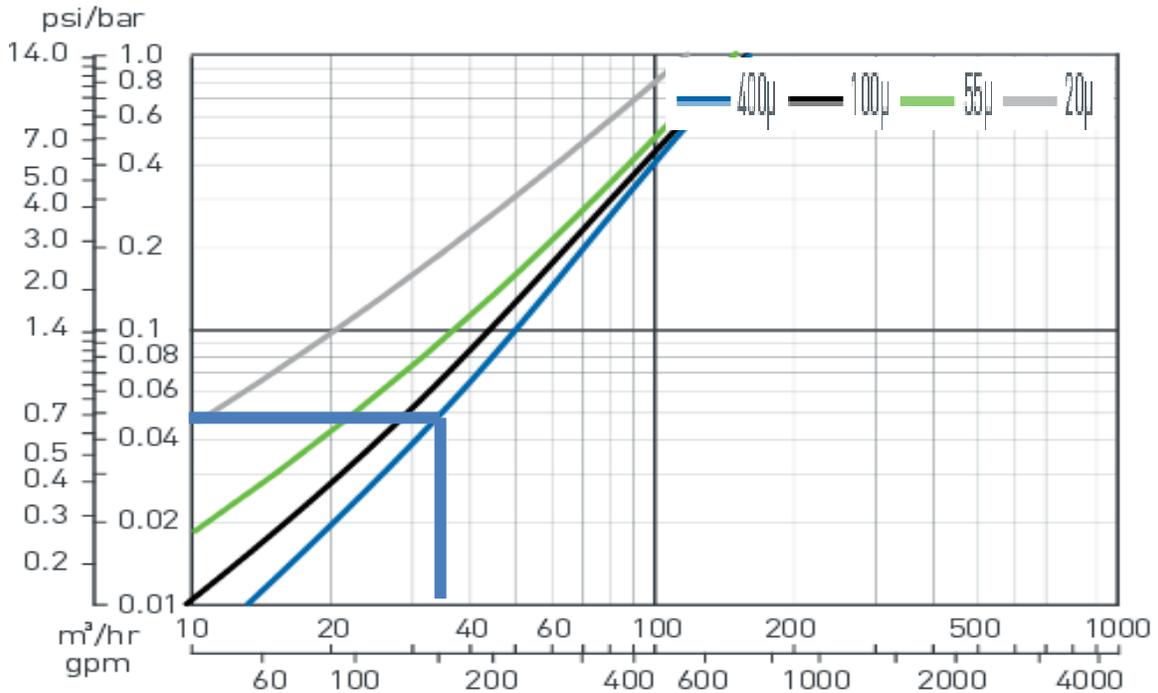
Primero se ubicó el flujo que fue de 35.17 m<sup>3</sup>/h, posteriormente se trazó una línea vertical como se muestra en la Figura 7, hasta que se intersecta con la línea en diagonal que representa 400 micrones, que corresponde a la malla recomendada

<sup>6</sup> Mesh. Número de orificios por pulgada lineal. 80 mesh = 175 micrones

para el tipo de gotero que se tiene, la pérdida de presión se obtuvo al trazar una línea horizontal sobre el punto seleccionado, la pérdida fue de 0.05 bares, igual a 0.5 mca.

Figura 7. Pérdidas de carga en filtro.

### Batería SK 3 x 3" F. Externa



Tipo de Filtro		Batería de 3 unidades
<b>Datos Generales</b>		
Presión de trabajo máxima		
Presión de retrolavado mínima		
Caudal máximo recomendado	100µ	90 m³/h [396 gpm]
	55µ	60 m³/h [264 gpm]
	20µ	30 m³/h [132 gpm]

Fuente: Elaboración propia, 2015. Datos obtenidos de AMIAD, 2015.

- Válvula check

Se seleccionó una válvula check de 3" porque pasa el flujo requerido de 35.17 m³/hr, y la velocidad no supera 2 m/s.

Para determinar el diámetro de la válvula check se utilizó la Figura 8, la cual se interpreta como un plano cartesiano; el eje de las "X" representa el flujo en m³/h, el

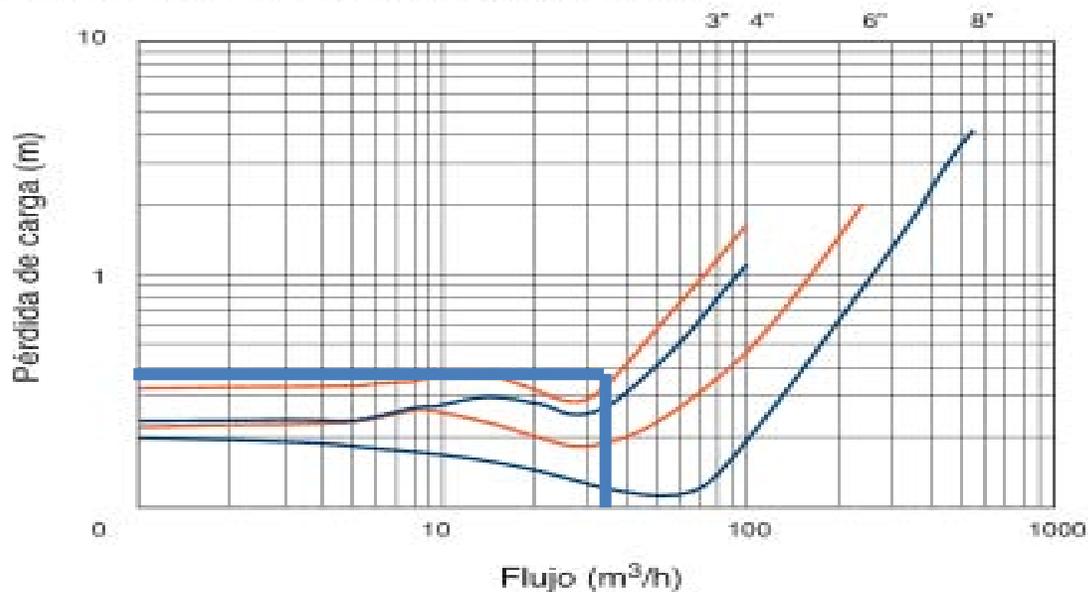
eje de las “Y” representa la pérdida de presión en mca, las líneas curvas representan los diámetros.

Primero se ubicó el flujo que fue de 35.17 m<sup>3</sup>/h, posteriormente se trazó una línea vertical como se muestra en la Figura 8 hasta que se intersectó con la línea curva que representa el diámetro de 3” y se trazó una línea horizontal para obtener la hf, la hf fue de 0.3 mca.

Figura 8. Pérdidas de carga en válvula check.



### GRAFICOS DE PERDIDA DE CARGA



Fuente: Elaboración propia, 2015. Datos obtenidos de ARI ,2015.

Al concluir el cálculo de las pérdidas de todos los componentes se debe realizar el cálculo de la carga hidráulica total para seleccionar el caballaje de la bomba a emplear.

La carga hidráulica total se debe calcular a través de la siguiente fórmula:

$CHT = Pa + H_{fp} + h_{fc} + H_{fs} + h_{fca} + H_{fl} + H_{fd}$  donde:

CHT = Carga hidráulica total (m)

$P_e$  = Presión de operación del emisor (m)

$H_{fp}$  = Pérdida de carga por fricción en principal (m)

$H_{fc}$  = Pérdida de carga por fricción en conducción (secundaria) (m)

$H_{fs}$  = Altura de succión al eje del impulsor (m)

$H_{fca}$  = Pérdida de carga en cabezal (m). La sumatoria de pérdidas en medidor de flujo, filtro y check y válvula mariposa componen la pérdida de carga en cabezal.

$H_{fl}$  = Pérdida de carga en línea de goteo (m)

$H_{fd}$  = Pérdida de carga por desnivel del terreno (m)

En la siguiente Tabla se muestran las pérdidas de carga del sistema de riego que ya se habían calculado anteriormente:

Tabla 21. Pérdidas de carga en el sistema.

Elemento	Diámetro (in)	Diámetro interior (mm)	Gasto (l/s)	Distancia (m)	hf (m)	Velocidad
Succión	2.5	68	9.77	2	2	2.6
Cabezal de riego	3	84	9.77	6	2.3	1.76
L. Principal	4	108	9.77	332	3.2	1.07
L. Principal	4	108	9.77	172	1.65	1.06
L. Principal	4	108	9.77	131	1.26	1.06
L. Principal	4	108	9.77	130	1.25	1.07
L. Secundaria	3	84	9.77	100	4.36	1.76
L. Secundaria	3	84	9.77	100	4.36	1.76
L. Secundaria	3	84	9.77	100	4.36	1.76
L. Secundaria	3	84	9.77	100	4.36	1.76
Válvula 1	3	84	9.77	-	0.03 28	1.76
L. Regante	20 mm	17.45	0.14	160	2.41	0.62
Válvula 2	3	84	9.77	-	0.03 28	1.76
L. Regante	20 mm	17.45	0.14	160	2.41	0.62
Válvula 3	3	84	9.77	-	0.03 28	1.76
L. Regante	20 mm	17.45	0.14	160	2.41	0.62
Válvula 4	3	84	9.77	-	0.03 28	1.76
L. Regante	20 mm	17.45	0.14	160	2.41	0.62

Fuente: Elaboración propia, 2015

La carga hidráulica total fue la siguiente:

$$CHT = P_e + H_{fp} + h_{fc} + H_{fs} + h_{fca} + H_{fl} + H_{fd}$$

$$CHT = 10 + 3.2 + 4.36 + 2 + 2.3 + 2.41 + 13 = 37.27 \text{ mca}$$

El resultado se multiplica por 1.05 como factor de pérdidas locales (misceláneas), dando como resultado 39.13 mca.

- Válvula de alivio de presión

El tamaño de la válvula deberá adaptarse al flujo de alivio requerido según la presión de apertura prefijada. La presión de apertura debe ser un 5% mayor a la carga dinámica total. Para determinar el diámetro se utilizó la siguiente fórmula:

$$D(\text{mm}) = \sqrt{(250 \times \text{Flujo}[\text{m}^3/\text{hora}] / \sqrt{\text{Presión}[\text{mwc}]})}$$

La carga dinámica total del sistema es de 39.13 mca; con un 5% de operación mayor es de 41.08 mca

$$D = \sqrt{(250 \times 35.17 \text{ m}^3/\text{hora} / \sqrt{41.08})} = 93.76 / 6.4 = 14.64 \text{ mm}$$

Como no existen válvulas de 14.64 mm o menores de 2", se seleccionó una válvula de alivio de presión de 2"

- Selección unidad de bombeo

La unidad de bombeo debe tener la capacidad de dar el mayor gasto por sección y la carga hidráulica total del sistema para que el desempeño de este sea eficiente.

Para la selección de la bomba se utilizó la siguiente fórmula:

$$H_p = \frac{L_{ps} \times \text{Carga hidráulica total}}{75 (\text{Eficiencia})^7}$$

$$\text{El resultado fue: } H_p = \frac{9.77 \times 39.13}{75 (.75)} = 6.79 \text{ hp}$$

Al saber el valor, se debe buscar una bomba que comercialmente proporcione ese gasto y esa carga. Debido a que no hay bombas de 6.79 hp comercialmente, se selecciona el caballaje inmediato superior que es 7.5 hp.

Este valor es teórico, pero al seleccionar los modelos de la marca Cuma, se determinó que la bomba que mejor se ajusta es de 10 hp con un impulsor de 6.5" y

---

<sup>7</sup> Eficiencia de una bomba centrífuga horizontal.

una eficiencia de 72%, considerando el gasto de 9.77 l/s y una carga de 39.13 mca.

Para determinar el caballaje de la bomba se utilizó la Figura 9, la cual se interpreta como un plano cartesiano; el eje de las "X" representa el flujo en l/s, el eje de las "Y" representa la carga de presión en mca, las líneas curvas-horizontales representan el diámetro del impulsor de la bomba, las líneas curvas-verticales representan la eficiencia de la bomba y las líneas punteadas representan la fuerza o el caballaje de la bomba.

Primero se ubicó el flujo que fue de 9.77 l/s, posteriormente se trazó una línea vertical como se muestra en la figura hasta que se intersectó con la línea horizontal que representa los 39.13 mca, dando como resultado una bomba de 7.5 hp con un impulsor de 6", sin embargo queda muy justo, por lo que se decidió elegir el caballaje inmediato superior que es de 10 hp con un impulsor de 6.5". El diámetro de succión es de 2.5" y el de descarga es de 2" (Figura 9)

La aspiración positiva neta disponible (NPSHA) es la presión absoluta en la entrada del rotor y se calculó de la siguiente manera:

$NPSHA = (H_0 - H_v) - H_s - H_f$  donde:

$H_0$  = Presión atmosférica

$H_v$  = Presión de saturación del vapor (mca)

$H_s$  = Altura del eje del rotor por encima de la superficie del agua (m)

$H_f$  = Pérdida de carga en la tubería de aspiración

$NPSHA = (H_0 - H_v) - H_s - H_f$

$H_0 - H_v = 9$  (Tabla 22)

$H_s = 2$  metros

$H_f = 0.18$  mca (Usando la educación Hazen-William).

$NPSHA = 9 - 2 - 0.18 = 6.82$  metros.

El valor de la NPSHA es de 6.82 metros, por lo que cumple con la NPSHR de la bomba.

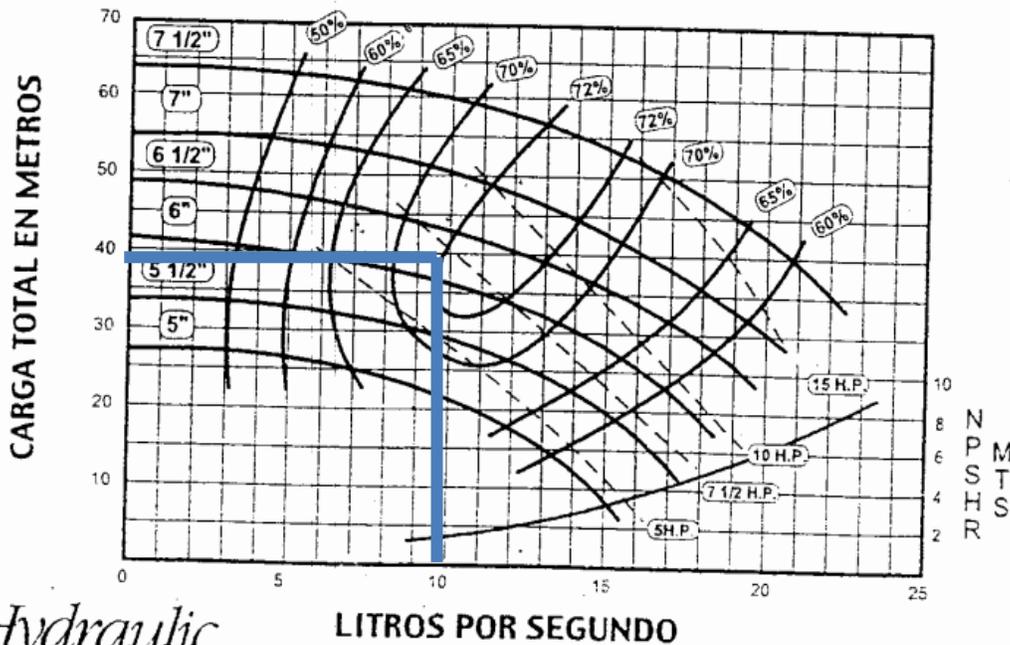
Tabla 22. ( $H_0 - H_v$ ) en función de las temperaturas y altitudes.

Temperatura del agua (°C)	Altitud sobre el nivel del mar				
	0	500	1000	1500	2000
0	10.3	9.7	9.2	8.6	8.1
10	10.2	9.6	9.1	8.5	8
20	10.1	9.5	<b>9</b>	8.2	7.9
30	9.9	9.3	8.8	8.2	7.7
40	9.6	9	8.5	7.9	7.4
50	9	8.4	7.9	7.3	6.8
60	8.3	7.7	7.2	6.6	6.1

Fuente: Boswell, 1990.

Figura 9. Curva de trabajo bomba Cuma Modelo K2L.

	MODELO	TAMAÑO	R.P.M.	GRAFICA
	K2L	2 1/2" x 2" 63.5 x 50.8 mm. (SUCCION Y DESCARGA)	3,450	No. 1027



*Hydraulic*

LITROS POR SEGUNDO

Fuente: Elaboración propia, 2015. Datos obtenidos de Bombas Cuma, 2015.

Calculo de potencia eléctrica. Se calculó con la siguiente fórmula:

$P = VI$  donde:

V = Voltaje o diferencia de potencial eléctrico (voltios)

I = Intensidad de corriente eléctrica (ampers)

El motor de la bomba funciona con corriente alterna de 208 Volts, con una intensidad de corriente eléctrica de 26.2 ampers (Figura 10).

$P = VI$

$P = 208 (26.2) = 5449.6 \text{ watts}$

1 hp = 745.7 watts.

10 hp = 7457 watts.

Figura 10. Consumo de energía (Bomba 10 hp).

HP	10						
VOLTS	208-230/460						
AMPS	26.2-23.8/11.9						
R.P.M.	3450						
FRAME	215JM	HZ	60	PH	3		
SER. F.	1.15	CODE	H	DES	B	CLASS	F
NEMA NOM. EFF.	87.5 %		P.F.	90 %			
RATING	40C AMB-CONT						
CC	USABLE AT 208V						A
BEARINGS	DE	6309		ODE	6206		
ENCL.	TEFC	SN	E0810303				

Fuente: Bombas Cuma, 2015.

Con la selección de la bomba se concluyeron los cálculos para la determinar los elementos que componen el sistema de riego por goteo.

Al conocer los diámetros de succión y descarga de la bomba, así como diámetros de las tuberías, manguera de goteo, cabezal y bomba, se eligieron los elementos

para unir los componentes mencionados anteriormente para concluir con todos los elementos que forman el diseño del sistema de riego.

#### Selección de materiales de conexión

La manguera de goteo a emplear es de 20 mm por lo que se requieren conectores del mismo diámetro.

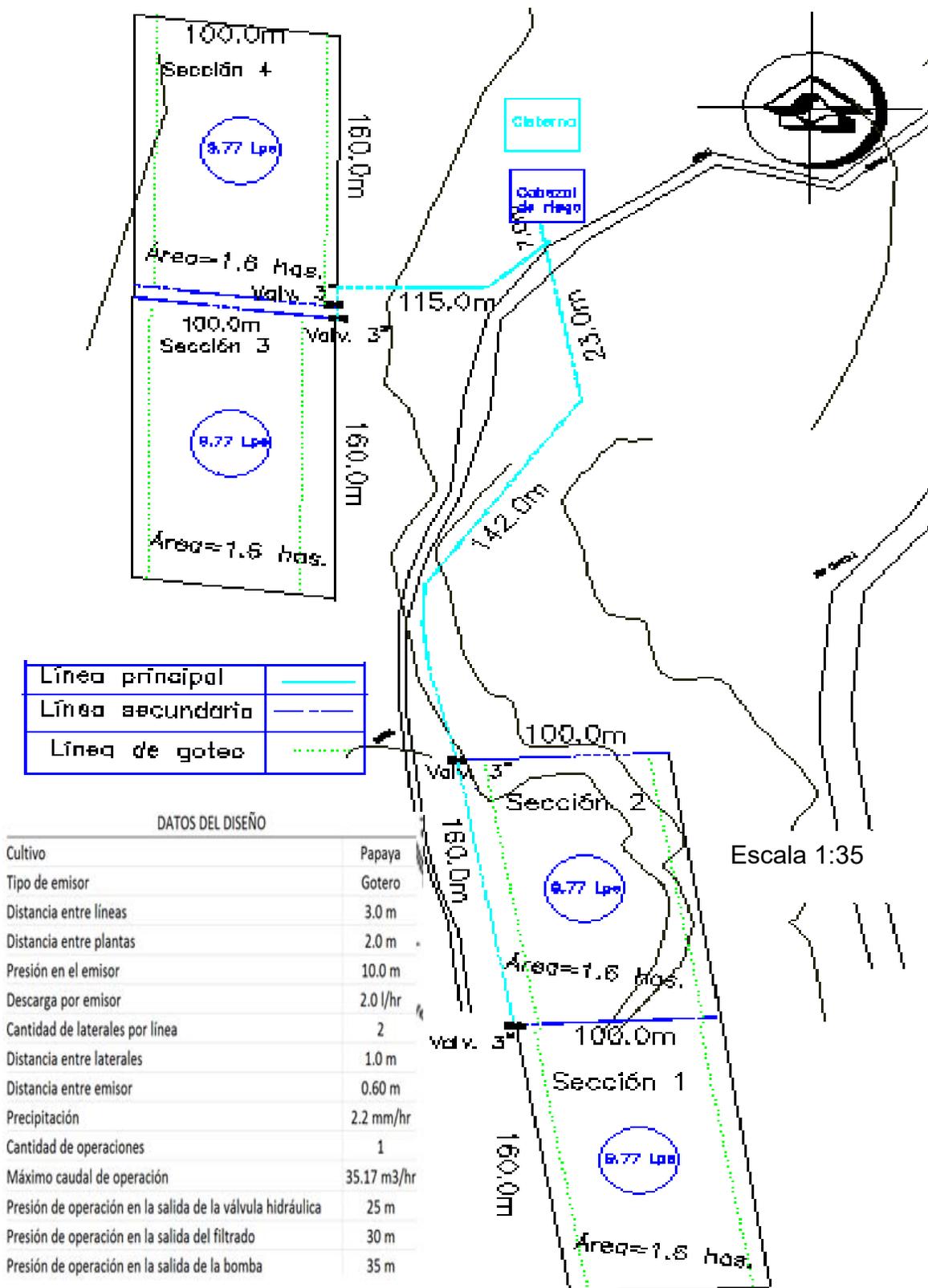
Tabla 23, Conexiones para manguera de goteo.

Elemento		Marca	Cantidad por sección	Cantidad total	Unidades
Manguera de goteo (20mm)	Goma para conector inicial de 20 mm	Plastro	66	264	Piezas
	Tubo de P.E. 20 mm	Netafim	66	264	Metros
	Conector inicial de PVC 20 mm	Plastro	66	264	Piezas
	Conector final 20 mm	Plastro	66	264	Piezas

Fuente: Elaboración propia, 2015.

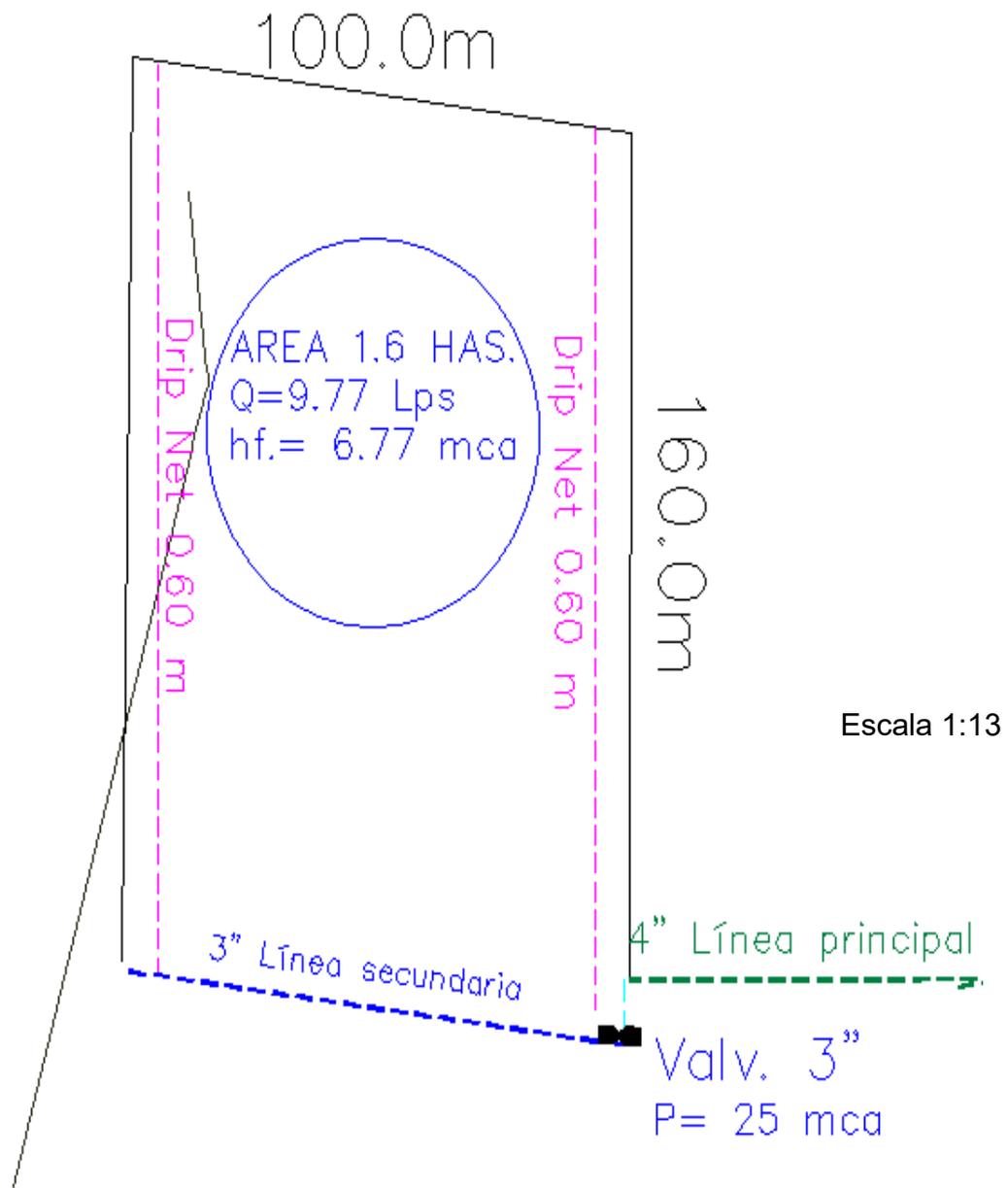
Con esto se concluyen los cálculos y el diseño del sistema de riego, una vez realizados estos cálculos se elaboró un plano del diseño del sistema de riego como se muestra en la Figura 11 y de una sección como se muestra en la Figura 12, se considera una sección porque todas tienen las mismas dimensiones.

Figura 11. Plano de diseño de sistema de riego por goteo para cultivo de Papaya.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Figura 12. Plano de una sección con su hf y presión de operación a la salida de la válvula.



Elemento	Características	Hf
Línea principal	4", 332 m.	3.3 mca
Línea secundaria	3", 100 m.	4.3 mca
Línea goteo Drip Net	20 mm, 2 l/h, 160 m.	2.4 mca

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.7 Guía condensada para el diseño de un sistema de riego por goteo

Con base a los estudios realizados anteriormente, y obteniendo un resultado satisfactorio, se propone como guía de apoyo para el diseño de un sistema de riego el siguiente documento:

1. Ubicación del área de estudio
2. Características del terreno
3. Condiciones agroclimáticas

Cálculo de ETP. Calculo de la evapotranspiración a partir de la ecuación de Thornthwaite:

$$ET = 1.6 \left( \frac{10T}{I} \right)^a (FC)$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.4924$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1.514}$$

ET = Evaporación mensual (cm)

T = Temperatura media mensual (°C)

I = Índice estacional de calor

a = Exponente que depende del índice estacional de calor

Fc = Factor de corrección que depende de la latitud del lugar (Tabla 4)

Ti = Temperatura media mensual (°C)

4. Fuentes de abastecimiento de agua  
Determinación de conductividad eléctrica
5. Fuentes de energía.
6. Estudios técnicos para el diseño del sistema de riego  
Determinación del tipo de suelo  
Humedad disponible en el suelo (Tabla 6)  
La capacidad de infiltración del suelo (Tabla 7)
7. Cálculos para la determinación de requerimientos de agua

Estos cálculos servirán para determinar las necesidades hídricas de la planta, se requieren datos edafoclimáticos para realizar dichos cálculos.

### 7.1 Cálculo de lámina neta

$L_n = (L_{ad}) (F)$  donde:

$L_n$  = Lámina neta (cm)

$L_{ad}$  = Lámina de agua disponible (cm) en el suelo por metro de suelo (Tabla 6)

$F$  = Factor de abatimiento del cultivo (Tabla 8)

7.2 Lámina bruta. Considerar la eficiencia de la aplicación de riego y el requerimiento de lavado

$$L_b = \frac{\frac{L_n}{E}}{1-RL} \quad RL = \frac{CEa}{CEm} \quad \text{donde:}$$

$L_b$  = Lámina bruta (cm/mes)

$L_n$  = Lámina neta (cm)

$E$  = Eficiencia de aplicación del sistema de riego (Tabla 9)

$RL$  = Requerimiento de lavado

$CEa$  = Conductividad eléctrica del agua de riego (micromhos/cm)

$CEm$  = Conductividad eléctrica máxima tolerable por el cultivo (Tabla 10)

### 7.3 Uso consuntivo

Al saber los requerimientos hídricos de la planta, y las condiciones climáticas de la zona se procedió al cálculo del uso consuntivo (demanda máxima), con fundamento en los datos de las normales climáticas del Servicio Meteorológico Nacional, para la determinación de la lámina de riego.

### 7.4 Demanda máxima

$$D = \frac{Et - Pe}{10} \quad \text{dónde:}$$

$D$  = Demanda máxima (cm/mes)

$Et$  = Evapotranspiración (mm)

Pe = Precipitación efectiva (mm)

### 7.5 Precipitación efectiva

Para calcular la demanda máxima primero se calcula la precipitación efectiva, la cual se obtiene por el método de Doorenbos y Pruitt que consiste en ubicar en la Tabla 11 con la información de la precipitación media mensual (mm), la evapotranspiración del cultivo (mm/mes) y seleccionando la interacción de los valores, multiplicada por el factor de corrección para la precipitación efectiva por el método de Doorenbos y Pruitt (Tabla 12).

### 7.6 Intervalo de riegos

$$IR = \frac{Ln}{D} \quad \text{donde:}$$

IR = Intervalo entre riegos (días)

Ln = Lámina neta (cm)

D = Demanda máxima (cm/día)

## 8 Determinación del sistema de riego por goteo

Una vez calculadas las necesidades hídricas del cultivo, se procede a los cálculos hidráulicos para el diseño del sistema de riego.

### 8.1 Seleccionar el tipo de gotero

### 8.2 Cálculo de Precipitación horaria

La Precipitación horaria (PPH) se calcula con la siguiente fórmula:

$$PPH = \frac{Q(\text{gasto en } \frac{lt}{hr})}{\text{Distancia entre líneas} \times \text{distancia entre emisores}}$$

### 8.3 Determinación de la superficie de módulos o secciones a regar.

El tamaño de las secciones dependerá de la cantidad de agua disponible y requerida por el cultivo y las horas que se necesiten para aplicarla, y que sea aprovechada por la planta.

### 8.3.1 Determinación de materiales de conducción de agua

Al saber el gasto máximo que se necesita por sección, se selecciona una tubería que cumpla con esa necesidad de flujo, considerando la velocidad y pérdidas por fricción.

En línea principal la velocidad no debe ser mayor a 1.8 m/s.

En línea secundaria no debe ser mayor a 3.5 m/s.

Pérdidas por fricción. Las pérdidas por fricción en un sistema de riego por goteo entre el primer y último emisor debe haber una pérdida menor al 30%.

Diámetro de las tuberías. Considerando las velocidades y pérdidas por fricción.

### 8.3.2 Cálculo de hf y velocidad en línea principal

Para calcular el diámetro se debe considerar la distancia máxima a la unidad de bombeo, el diámetro interior y el gasto en l/seg., para sustituirlos en la ecuación de Hazen-Williams en donde:

$$H_f = 1.1361 \times 10^6 \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} L$$

Hf = Pérdidas de carga por fricción (mca)

Q = Caudal (lt/seg)

D = Diámetro interior de la tubería (mm) (Tabla 13)

L = Longitud de la tubería (m)

La velocidad se calculó usando la igualdad de  $Q = AV$

$$V = 1.273 \frac{Q}{D^2}$$

V = Velocidad media (m/s)

D = Diámetro interior (mm)

Q = Gasto (l/s)

### 8.3.3 Cálculo de Hf en línea secundaria

Calcular a partir de la ecuación de Hazen-Williams:

$$H_f = 1.1361 \times 10^6 \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} \text{ L} \qquad V = 1.273 \frac{Q}{D^2}$$

El cálculo de la línea secundaria se debe multiplicar por el factor de salidas (Tabla 19), y se suma a la hf sin el factor. Este factor varía dependiendo del número de líneas que se tengan a lo largo de la tubería secundaria.

#### 8.3.4 Cálculo de Hf en línea regante (goteo)

Se calcula con programas de las marcas comerciales o se busca en tablas que las mismas marcas proporcionan. Estos cálculos se realizan con la ecuación de Hazen-Williams, utilizan la longitud de la línea regante, el gasto en litros por segundo, el diámetro interior de la manguera y un factor que depende del tipo de gotero a emplear.

#### 8.4 Selección de válvulas hidráulicas y cálculo de velocidad y hf

Se seleccionan con base al caudal máximo requerido. Las velocidades y pérdidas se calculan a partir de la ecuación de Hazen-Williams:

$$H_f = 1.1361 \times 10^6 \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} \text{ L}$$

#### 8.5 Determinación de materiales de cabezal de riego

Los filtros, válvulas mariposa, válvulas check, válvulas de control en general y componentes del cabezal se seleccionan con base al caudal máximo requerido y el diámetro de las tuberías del cabezal a emplear que queda determinado por dichos componentes, mismos que no tienen velocidades mayores a 2.0 m/s.

8.5.1 Selección de medidor de flujo.

8.5.2 Selección de filtro.

8.5.3 Selección de válvula de alivio de presión.

8.5.4 Selección de válvula check.

#### 8.6 Cálculo de carga hidráulica total

CHT= Pa + Hfp + Hfc + Hfs + Hfca + Hfl + Hfd donde:

CHT = Carga hidráulica total (m)

Pe = Presión de apertura del gotero (m)

Hfp = Pérdida de carga por fricción en principal (m)

Hfc = Pérdida de carga por fricción en conducción (secundaria) (m)

Hfs = Altura de succión al eje del impulsor (m)

Hfca = Pérdida de carga en cabezal (m). La sumatoria de pérdidas en medidor de flujo, filtro y check componen la pérdida de carga en cabezal.

Hfl = Pérdida de carga en línea de goteo (m)

Hfd = Pérdida de carga por desnivel del terreno (m)

El resultado se multiplica por "1.05" como factor de pérdidas locales (misceláneas).

#### 8.7 Selección de bomba

Una vez obtenidos los datos anteriores, se procede a seleccionar la bomba que se requiere para el sistema. Utilizar la siguiente formula:

$$Hp = \frac{Lps \times \text{Carga hidráulica total}}{75 (\text{Eficiencia})^8}$$

Buscar una bomba que cumpla que esas características, el valor obtenido es teórico por lo que el caballaje de la bomba puede variar.

En la descarga de la bomba se debe colocar una válvula automática de aire (Barak) para eliminar las burbujas de aire que se puedan generar en la succión. También consideró que en cabezal de riego y válvulas de riego se debe emplear tubería y conexiones en Cédula 40. (Boswell, 1990)

Con la selección de la bomba se concluyen los cálculos para la selección de elementos que componen el sistema de riego por goteo.

---

<sup>8</sup> Eficiencia de una bomba centrifuga horizontal.

Al conocer los diámetros de succión y descarga de la bomba, así como diámetros de las tuberías, manguera de goteo, cabezal y bomba, se deben elegir los elementos para unir los componentes mencionados anteriormente.

Con la lista de materiales que se necesitan para la implementación del diseño del sistema de riego, se concluye el trabajo.

## **V. CONCLUSIONES**

Las condiciones edáficas y climáticas son determinantes para los requerimientos de agua del cultivo en la zona de estudio.

Para seleccionar el gasto del emisor a emplear y la separación entre emisores, es necesario el cálculo de necesidades hídricas del cultivo, así como la distancia entre plantas.

El trazo de las líneas de cultivo de acuerdo a la pendiente del terreno influye directamente en el diseño y trazo de líneas a regar, aumentando o disminuyendo la carga hidráulica.

Para llevar a cabo un diseño de sistema de riego, se debe conocer el manejo de la hidráulica del suelo, particularmente la velocidad de infiltración y la capacidad de almacenamiento.

Con la finalidad de disminuir la presencia de golpe de ariete, se debe calcular la velocidad máxima promedio en las líneas principales y secundarias.

La selección adecuada de diámetros de tubería a emplear ayuda a disminuir los cambios bruscos de presión y por consiguiente la presencia de cavitación en el sistema.

En el diseño y trazo de líneas de las secciones de riego, es determinante considerar una diferencia no mayor de un 15% de gasto entre el primer gotero de la primer línea y ultimo gotero de la última línea

La interpretación de tablas de riego permite seleccionar los materiales adecuados, generando que su desempeño sea el óptimo dentro del sistema de riego.

El emplear válvulas de seguridad (alivio de presión, check y ventosas) disminuyen la probabilidad de ruptura de tuberías.

La selección de materiales de alta calidad conlleva a una mayor eficiencia del sistema de riego.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

Amiad, (10 de Diciembre de 2015). Recuperado el 10 de Diciembre de 2015 de <http://www.amiad.com.au/files/nr-020.pdf>

Angles Sedo, J. (1980). Determinación de parámetros hidráulicos en emisores de riego por goteo y de pérdida de carga continua en microtubos. Tesis doctoral. ETSIA. Universidad Politécnica de Valencia. España. 15-30 pp.

Arkal, (10 de Marzo de 2015). Obtenido de [http://www.irrigationglobal.com/products/arkal/3\\_75\\_super\\_angle\\_disc\\_filter\\_arkal.pdf](http://www.irrigationglobal.com/products/arkal/3_75_super_angle_disc_filter_arkal.pdf)  
Amiad. (9 de Diciembre de 2015). Recuperado el 9 de Diciembre de 2015, de Amiad: <http://www.amiad.es/catalog-in.asp?type1=1&num=127&cat=15>

Ari . (9 de Diciembre de 2015). Obtenido de <http://www.arivalves.com/es/products/agriculture/item/nr-010-wafer-style-check-valve>

Arroyo, L. (2003). *Zonificación Agroecológica de 15 cultivos prioritarios en la Región Huetar Atlántica de Costa Rica*. Costa Rica: Departamento de Suelos y evaluación de Tierras.

Bermad. (8 de Diciembre de 2015). Recuperado el 8 de Diciembre de 2015, de Bermad: <http://www.bermad.com/product/product=turbo-ir-a-ir/cat=99310>

Bombas Cuma. (15 de Diciembre de 2015). Recuperado el 15 de Diciembre de 2015, de Bombas Cuma: [http://www.bombasultana.com/pdfs/CUMA/MODELOS\\_CURVAS\\_KH.pdf](http://www.bombasultana.com/pdfs/CUMA/MODELOS_CURVAS_KH.pdf)

Boswell, M. (1990). *Manual de diseño y manejo de sistemas de micro-irrigación*. España: Litografía A. Romero.

Casaca. (2005). *El cultivo de papaya, guía tecnológica de frutos y vegetales*. Costa Rica: Pomosta.

Copa-cogeca. (2007). *El agua y la agricultura en el contexto de un clima cambiante*. Bélgica.

Cresco. (10 de Diciembre de 2015). *Cresco*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2010, de [http://www.bombasultana.com/pdfs/CUMA/MODELOS\\_CURVAS\\_KL.pdf](http://www.bombasultana.com/pdfs/CUMA/MODELOS_CURVAS_KL.pdf)

Cresco. (15 de Noviembre de 2015). *Cresco*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de <http://emmsa.com/admin/img/servicio-cliente/ft-tuberia-c40.pdf>

Escobar, C. (2011). Papaya en casa sombra. *IICA*, 35.

FAO. (7 de Diciembre de 1997). *FAO*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2015, de FAO: <http://www.fao.org/noticias/1997/971201-s.htm>

- FAO. (2002). *FAO*. Recuperado el 8 de Diciembre de 2015, de FAO:  
<http://www.fao.org/docrep/005/s8630s/s8630s04.htm>
- Ford, H. (1978). Water treatment. En H. Ford, *Bacterial clogging in low pressure irrigation systems* (págs. 239-254). Estados Unidos.
- González, Á. F. (2000). *Perspectivas del medio ambiente mundial*. Costa Rica: Mundi-Prensa.
- Hernández. (1990). Prólogo. En M. Boswell, *Manual de diseño y manejo de sistemas de micro-irrigación* (págs. 11-12). España: Litografía A. Romero.
- Hernández. (3 de Agosto de 2009). Impulsa Firco cultivo de Papaya en Morelos. *EL sol de Cuautla*, pág. 1.
- Hernández, J. (1990). Prólogo. En M. Boswell, *Manual de diseño y manejo de sistemas de micro-irrigación* (págs. 11-12). España: Litografía A. Romero.
- Hernández., A. (1997). *El riego por goteo*. España: Ministerio de agricultura.
- INEGI. (2014). *Encuesta Nacional Agropecuaria*. México.
- INEGI. (2014). *Encuesta Nacional Agropecuaria*. México.
- INFERSA. (2010). *Manual de riego*. México.
- Jensen, M. (1968). Water deficits and plant growth. En M. Jensen, *Water consumption by agricultural plant*. (págs. 1-22). Londres: Kodlowski.
- López, R. (1997). *Riego localizado*. España: Mundi-Prensa.
- Mejorada, F. S. (1990). *Riego por apersion*. México.
- Mendoza, G. (5 de Diciembre de 2015). Comunicación personal.
- Morelos. (10 de Agosto de 2010). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2015, de Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM17morelos/index.html>
- Muller, M. (2010). *La gestión del agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climatico*. Global WaterPartnership.
- Netafim. (15 de Febrero de 1996). Comparación entre goteros. *Comparación entre goteros*. Hatzerim, Israel.
- Netafim. (8 de Diciembre de 2015). Recuperado el 8 de Diciembre de 2015, de Netafim:  
[http://www.netafim-latinamerica.com/Data/Uploads/110517\\_Dripnet\\_PC\\_thick\\_walled\\_dripperlines\\_product\\_sheet.pdf](http://www.netafim-latinamerica.com/Data/Uploads/110517_Dripnet_PC_thick_walled_dripperlines_product_sheet.pdf)

- Pair, C. (1986). Irrigation system uses. En C. Pair, *Irrigation* (págs. 1-6). Estados Unidos: Irrigation Association.
- Pimentel, B. M. (2012 de Noviembre de 2012). *Oxfam México*. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de Oxfam México: <https://oxfamMexico.org/crece/el-uso-sustentable-del-agua-subterranea-y-la-energia-en-la-agricultura-mexicana-2/>
- Rabinóvich, E. (1983). Elementos hidráulicos de flujo. En E. Rabinóvich, *Hidráulica* (págs. 79-83). Rusia: Mir.
- Roldan, J. C. (1995). *Manual de riego por goteo*. México.
- SAGARPA. (1 de Enero de 2012). SAGARPA. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de [http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/proyectosExitososFichaTecnica.php?from=0&accion=buscar&subrutina=pagina\\_1&column=2&busqueda=&orderBy=NivelProyecto&order=ASC&proyectoExitosold=162784731418c176faa020](http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/proyectosExitososFichaTecnica.php?from=0&accion=buscar&subrutina=pagina_1&column=2&busqueda=&orderBy=NivelProyecto&order=ASC&proyectoExitosold=162784731418c176faa020)
- Serna, L. A. (1997). Prólogo. En R. Lopez, *Riego localizado* (pág. 405). España: Mundi-Prensa.
- SIAP. (1 de Diciembre de 2014). *Servicio de informacion agroalimentaria y pesquera*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2015, de SIAP: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>
- Storey, W. (1976). *Evolution of Crop Plants*. Inglaterra: Longman.
- Tarjuelo, J. M. (2005). *El riego por aspersión*. Madrid, España.
- Teran, J. H. (1969). Riego para superficie. México: Pec, S.A.
- Vargas. (7 de Abril de 2013). Morelos podría agotar sus acuíferos. *Excelsior*, pág. 12.
- Vargas, J. C. (7 de Abril de 2013). En cinco años, Morelos podría agotar sus acuíferos. *Excelsior*, pág. 1.
- Water, G. (2013). *Tecnologías para el uso sostenible del agua*. Honduras: Global Water.
- Winter, E. J. (1979). *El agua, el suelo y la planta*. México: Diana.

## VII. ANEXOS

Anexo 1. Manguera DripNet. Máxima longitud de laterales a emplear.

### DRIPNET PC™ 16470 - 17470 - 20470

#### DRIPPERS TECHNICAL DATA

FLOW RATE (L/H.)	WORKING PRESSURE RANGE (BAR)	WATER PASSAGES DIMENSIONS WIDTH-DEPTH-LENGTH (MM.)	FILTRATION AREA (MM2)	CONSTANT K	EXPONENT *	RECOMMENDED FILTRATION (MICRON)/(MESH)
0.6	0.25 - 2.5	0.52 x 0.60 x 22	39	0.6	0	130/120
1.0	0.40 - 2.5	0.61 x 0.60 x 8	39	1.0	0	130/120
1.6	0.40 - 2.5	0.76 x 0.73 x 8	39	1.6	0	200/80
2.0	0.40 - 3.0	0.76 x 0.85 x 8	39	2.0	0	200/80
3.0	0.40 - 3.0	1.02 x 0.88 x 8	39	3.0	0	200/80
3.8	0.60 - 3.0	1.02 x 0.88 x 8	39	3.8	0	200/80

\* Within working pressure range

DripNet PC™ 17470 - I.D. 14.6 mm. - Kd 0.65 - Presión de entrada 2.4 bar

Máxima longitud de laterales (metros) a presión definida en la entrada

CAUDAL (L/H.)	ESPACIAMIENTO ENTREGOTEROS (M)									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.6	110	204	288	364	434	500	561	621	677	731
1.0	78	146	206	261	312	359	404	446	487	526
1.6	58	107	152	192	230	265	298	330	360	389
2.0	50	93	131	166	199	229	258	286	311	337
3.0	38	71	101	128	153	176	199	220	240	259
3.8	33	61	86	110	131	151	171	189	206	223

\*Calculado en un área plana \*\*Mínima presión considerada: 0.4 bar

DripNet PC™ 20470 - I.D. 17.50 mm. - Kd 0.35 - Presión de entrada 2.4 bar

Máxima longitud de laterales (metros) a presión definida en la entrada

CAUDAL (L/H.)	ESPACIAMIENTO ENTREGOTEROS (M)									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.6	166	302	419	525	622	712	797	877	953	1027
1.0	119	216	301	377	447	512	573	631	687	740
1.6	87	159	222	278	330	378	424	466	508	547
2.0	75	137	192	241	286	328	367	404	440	474
3.0	58	105	147	185	220	252	283	311	339	365
3.8	49	90	126	159	189	217	243	267	292	314

\*Calculado en un área plana \*\*Mínima presión considerada: 0.4 bar

Para mayor información, por favor contactar al Departamento Técnico de Netafim o conectarse a nuestro sitio web: [www.netafim-latinoamerica.com](http://www.netafim-latinoamerica.com)

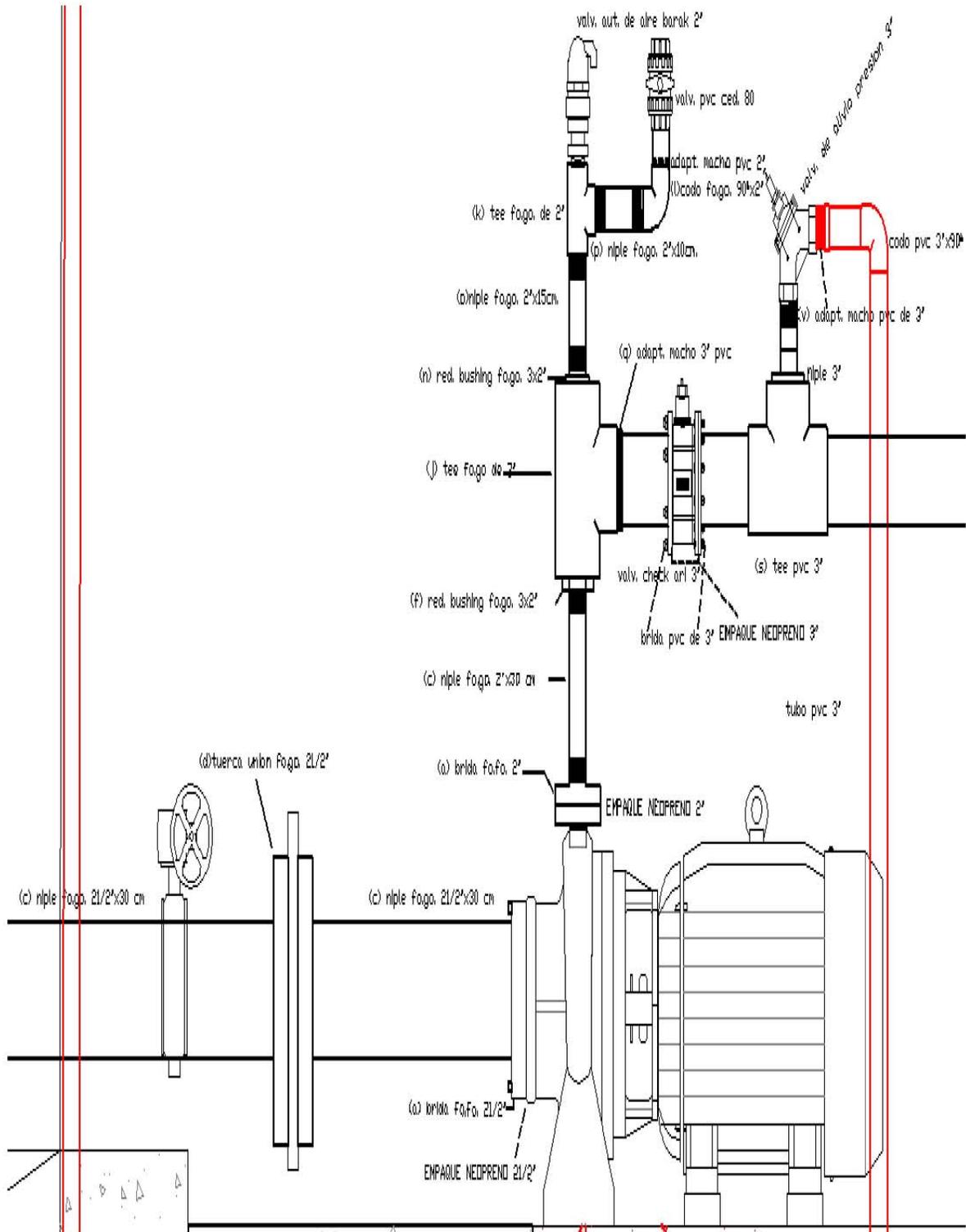
Fuente: Netafim, 2015.

El Anexo 1 es una tabla de desempeño de la manguera DripNet, de 17, y 20 mm. Para seleccionar el diámetro y saber la pérdida de presión se debe ubicar el gasto y la distancia del gotero en la tabla, al saber que el gotero seleccionado es de 2 l/hr a cada 60 cm se ubica en DripNet Pc 20470 (manguera Dripnet de 20 mm), el cual indica que al tener una presión de entrada a la línea de goteo de 2.4 bar, con un gasto de 2 l/hr y una separación entre gotero de 0.60 se me puede tener una línea regante de hasta 328 metros de largo, teniendo una presión de 0,4 bares en el último gotero, dando una hf de 2 bares en 328 metros de largo.



En el siguiente Anexo se puede observar el diseño de succión y descarga de la bomba.

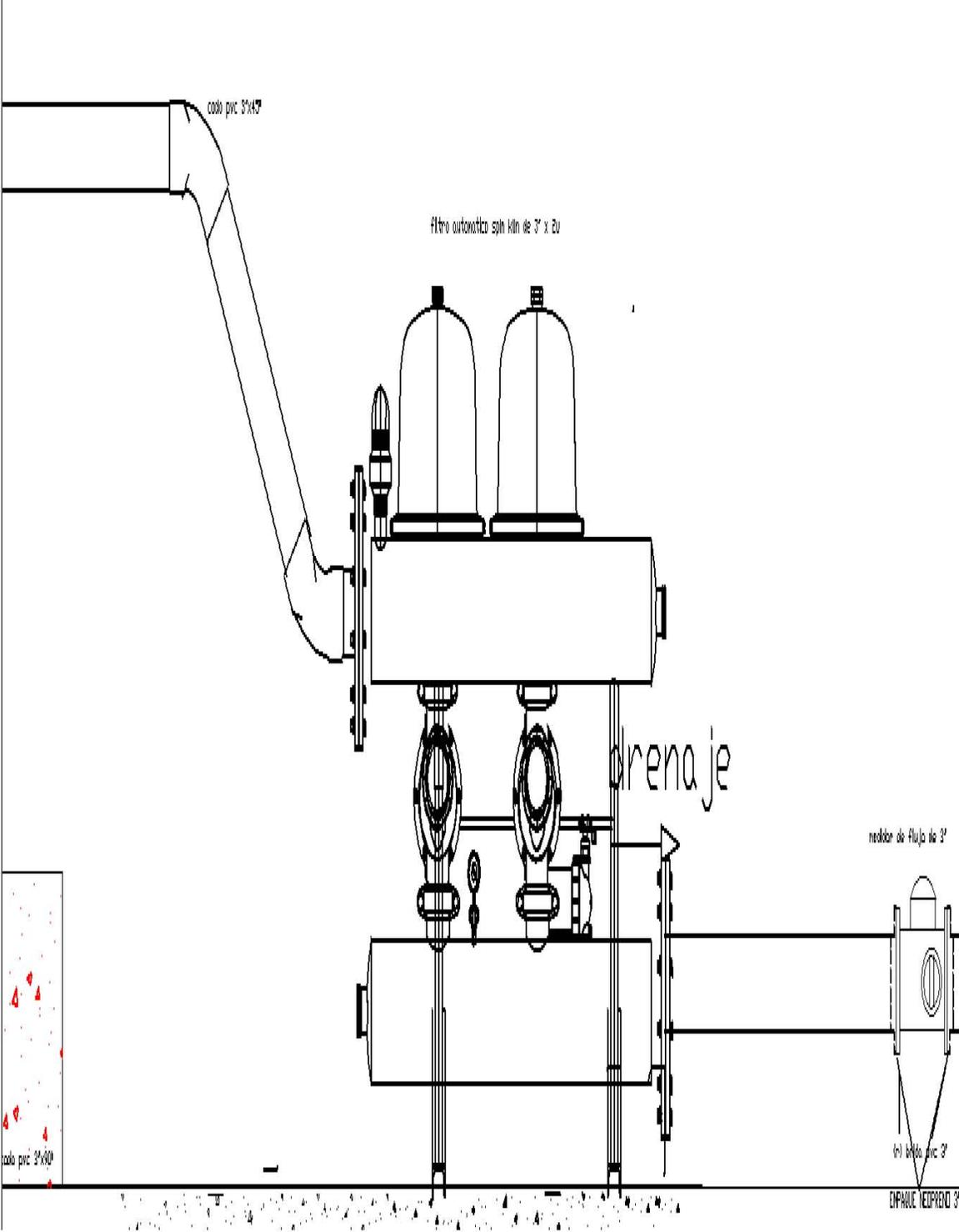
### Anexo 3. Conexión de succión y descarga de la bomba.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

En el siguiente Anexo se puede observar el diseño de la conexión del filtro y medidor de flujo.

Anexo 4. Conexión de filtro y medidor de flujo.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

En el siguiente Anexo se pueden observar los elementos que componen el cabezal de riego.

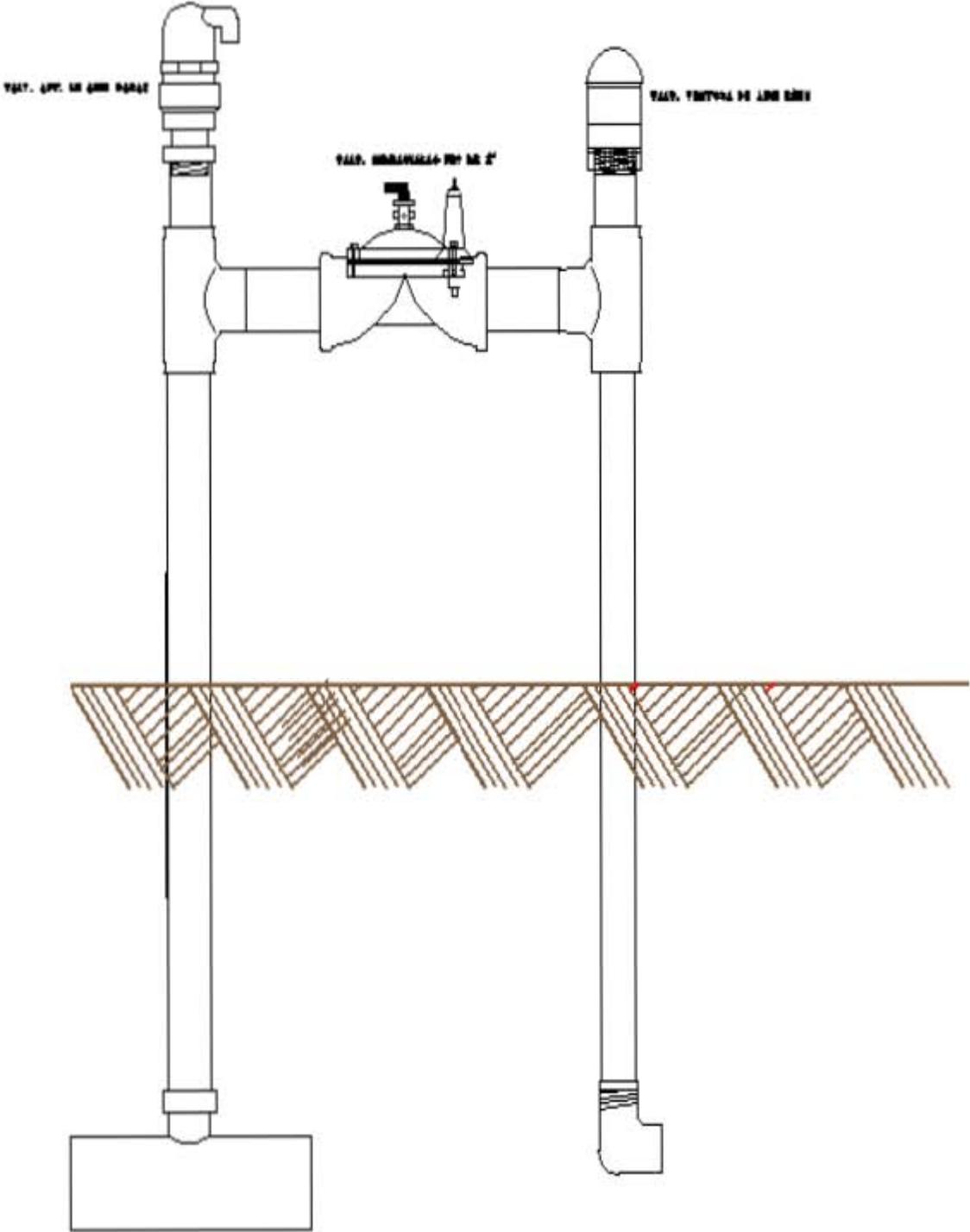
Anexo 5. Elementos que componen el cabezal de riego.

	Elemento	Marca	Cantidad por sección	Cantidad total	Unidades
Cabezal de riego	Accesorios de succión y descarga	-----	1	1	Lote
	Bomba centrifuga de 10 hp	Cuma	1	1	Piezas
	Válvula ventosa de aire Barak 2"	Ari	1	5	Piezas
	Válvula check de plástico 3"	Amiad	1	1	Piezas
	Válvula de alivio rápido de presión	Dorot	1	1	Piezas
	Filtro Spin Klin 2uX 3"	Arkal	1	1	Piezas
	Medidor de flujo 3"	Bermad	1	1	Piezas
	Válvula mariposa 4"	Bermad	1	1	Piezas
	Conexiones de PVC Ced. 40	-----	1	1	Lote

Fuente: Elaboración propia, 2015.

En el siguiente Anexo se puede observar el diseño de la conexión de válvula reguladora de presión, válvula automática de aire Barak y Emek.

Anexo 6. Conexión válvula reguladora de presión, válvula Barak y Emek.



Fuente: Elaboración propia, 2015

En el siguiente Anexo se pueden observar los elementos que componen las válvulas para cada sección (muñecas).

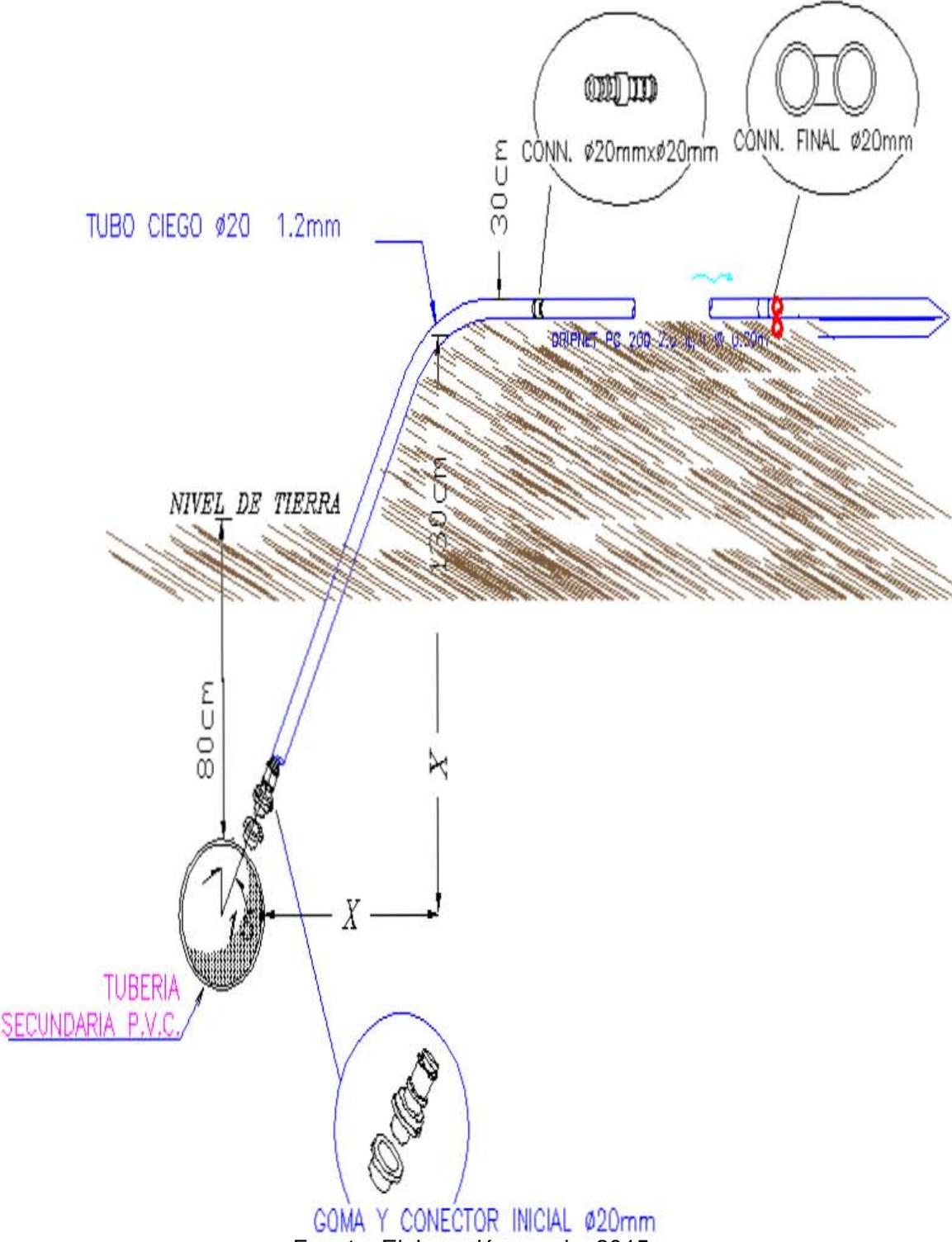
Anexo 7. Elementos que componen válvulas para cada sección (muñecas).

Elemento		Marca	Cantidad por sección	Cantidad total	Unidades
Muñecas	Válvula check de plástico 3"	Amiad	1	1	Piezas
	Válvula ventosa de aire Barak 2"	ARI	1	4	Piezas
	Válvula ventosa de aire Emek 2"	ARI	1	4	Piezas
	Conexiones de PVC Ced. 40	-----	1	4	Lote

Fuente: Elaboración propia, 2015.

En el siguiente Anexo se puede observar el arreglo de la conexión de la manguera de goteo.

Anexo 8. Conexión tubería secundaria-manguera de goteo.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

En el siguiente Anexo se muestran los componentes para la conexión de la manguera de goteo.

Anexo 9. Conexiones para manguera de goteo.

Elemento		Marca	Cantidad por sección	Cantidad total	Unidades
Manguera de goteo (20mm)	Goma para conector inicial	Plastro	66	264	Piezas
	Tubo de P.E. 20 mm	Netafim	66	264	Metros
	Conector inicial de PVC 20 mm	Plastro	66	264	Piezas
	Conector final 20 mm	Plastro	66	264	Piezas

Fuente: Elaboración propia, 2015.

En el siguiente Anexo se pueden observar todos los componentes del diseño del sistema de riego por goteo para el cultivo de papaya.

Anexo 10. Elementos que componen el diseño del sistema de riego por goteo para el cultivo de papaya.

	Elemento	Marca	Cantidad por sección	Cantidad total	Unidades
Cabezal de riego	Accesorios de succión y descarga	-----	1	1	Lote
	Bomba centrífuga de 10 hp	Cuma	1	1	Piezas
	Válvula ventosa de aire Barak 2"	ARI	1	1	Piezas
	Válvula check de plástico 3"	Amiad	1	1	Piezas
	Válvula de alivio de presión 3"	Dorot	1	1	Piezas
	Filtro Spin Klin 3"	Arkal	1	1	Piezas
	Medidor de flujo 3"	Bermad	1	1	Piezas
	Conexiones de PVC Ced. 40	-----	1	1	Lote
Materiales de conducción	Tubería de PVC RD-26 4"	-----	-----	456	Metros
	Tubería de PVC RD-26 3"	-----	100	400	Metros
	Conexiones de PVC RD-26	-----	1	1	Lote

Muñecas	Válvula reguladora de presión 3"	Dorot	1	1	Piezas
	Válvula ventosa de aire Barak 2"	ARI	1	4	Piezas
	Válvula ventosa de aire Emek 2"	ARI	1	4	Piezas
	Conexiones de PVC Ced. 40	-----	1	4	Lote
Manguera de goteo (20mm)	Drip Net PC 2.0 L/h 0.60m	Netafim	10,560	42,240	Metros
	Goma para conector inicial	Plastro	66	264	Piezas
	Tubo de P.E. 20 mm	Netafim	66	264	Metros
	Conector inicial de PVC 20 mm	Plastro	66	264	Piezas
	Conector final 20 mm	Plastro	66	264	Piezas

Fuente: Elaboración propia, 2015.