



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Diseño de un sistema de riego con reciclaje de
agua, bajo condiciones de invernadero en cultivo
de pimiento (*Capsicum annuum* L.)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA AGRÍCOLA

PRESENTA

MARÍA GUADALUPE ALVAREZ SANDOVAL

ASESOR:

ING. GUSTAVO MENDOZA RIVERA

CO-ASESORA:

M. en I. MARTHA ELENA DOMINGUEZ HERNÁNDEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2018



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: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales

DEPARTAMENTO DE
de la FES Cuautitlán.
EXÁMENES PROFESIONALES

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

Diseño de un sistema de riego con reciclaje de agua, bajo condiciones de invernadero en cultivo de pimiento (Capsicum annum L.)

Que presenta la pasante: MARÍA GUADALUPE ALVAREZ SANDOVAL
Con número de cuenta: 40801500-4 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería 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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de mayo de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Gloria Herrera Vázquez	
VOCAL	M.C. Juan Roberto Guerrero Agama	
SECRETARIO	Ing. Gustavo Mendoza Rivera	
1er. SUPLENTE	Ing. Minerva Edith Téllez Ordaz	
2do. SUPLENTE	Ing. Fernando Ortiz Salgado	

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

LMCF/ntm*

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, ALMA MATER, por todas las oportunidades recibidas, y enseñanzas aprendidas en ambas carreras tanto en la Facultad de Estudios Superiores Acatlán como en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

A la carrera de Ingeniería Agrícola por sembrar en mi “Semillas de conciencia”.

Al Ing. Gustavo Mendoza Rivera, por la oportunidad de realizar este proyecto de su mano, así como la realización no solo de esta tesis, si no de mi carrera y muchos sueños.

A la M. en I. Martha Elena Domínguez Hernández por el apoyo y excelente corrección en la realización del presente trabajo.

Al M. en C. Juan Roberto Guerrero Agama por las facilidades, apoyo y orientación para la realización de esta tesis.

Al Mtro. Oscar Callejas Moreno y al Ing. Xavier Bárcenas Sandoval por la orientación para encontrar aquellos detalles faltantes.

Al M. en D. Rolando Gutiérrez Nolasco por la capacitación en la corrección de los planos.

Al M. en I. Héctor Germán López Andraca por el gran apoyo para los pequeños detalles ambientales.

A mis sinodales la Dra. Gloria Herrera Vásquez, la Ing. Minerva Edith Téllez Ordaz y el Ing. Fernando Ortiz Salgado por sus asertivas correcciones y paciencia.

A mis padres

A mis hermanos

"Sabido que no existirá una forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo, quiero que sientan que el objetivo logrado también es suyo, y que la fuerza que me ayudó a conseguirlo fue su apoyo. Gracias por lo que hemos logrado.

Con admiración y respeto "

Dedicatorias

“El único lugar donde el éxito viene antes de trabajar es el diccionario”

-Albert Einstein

A mi madre por dar y hacer todo por mí, te amo mami, fue un camino muy difícil para las dos, pero lo logramos, este esfuerzo nos pertenece y quiero que sepas que nunca habrá en la vida nadie a quien quiera más que a ti, todos los días agradezco a Dios por tenerte a mi lado, eres lo mejor que tengo.

A mi padre, por apoyarme todo este tiempo, y por aguantar, por más largo que se te hiciera el camino.

A mis hermanos, Roberto Carlos, Miguel Ángel (†) y Osvaldo. Gracias por apoyarme siempre y en todo momento y por creer en mí. Ustedes son mi ejemplo a seguir. No tengo palabras para agradecer tanto apoyo, por tener tanta fe y confianza en mí. Los amo. Miguel sé que tu desde el cielo has guiado mi camino, te extraño mucho, pero sé que me seguirás cuidando como lo hiciste siempre.

A mis sobrinas, Dulce y Belén, cada uno de mis esfuerzos estuvieron enfocados en ustedes, en pensar en apoyarlas como su padre lo hizo un día conmigo, ustedes son el cariño más puro que podre tener para toda la vida, las amo mis niñas y no las voy a defraudar. Por ustedes y para ustedes.

Al profesor Gustavo Mendoza, le dedico no sólo esta tesis si no mi carrera completa, que no habría sido posible sin usted, gracias por ser esa parte tan importante de mi vida, por apoyarme y creer en mí. Por ser no sólo uno de los mejores profesores que la vida me ha puesto en el camino, si no también, por ser uno de mis mejores amigos. Simplemente gracias por ser y estar.

Al profesor Roberto Guerrero, no tengo si quiera palabras para agradecer tanto apoyo, pero sobre todo tanto cariño, gracias por guiarnos durante tantos años, pero sobre todo por ser un gran amigo.

A la profesora Martha Domínguez gracias por tomar de su tiempo para ayudarme y orientarme. Es usted una gran persona en toda la extensión de la palabra.

A los docentes que me han acompañado durante este camino, brindándome siempre su orientación y afianzando mi formación

A mis amigos de la Generación 37. Alejandro, Miguel, Georgina, Mario, Maritza, Andrea, Luis Fernando, Orlando, Esperanza, Raquel, Ivonne y Andrés. Sin duda alguna este camino no habría sido el mismo sin ustedes, porque como siempre lo dije; "Agradezco haber estado en esa generación y en ese grupo". Se que puedo decir sin temor a equivocarme que ustedes no son mis amigos, son mis hermanos, y que esto durará para toda la eternidad. Se que cada uno de ustedes logrará alcanzar el mayor éxito del mundo porque son increíbles en lo que hacen, pero sobre todo increíbles personas.

A Héctor, gracias por estar en mi vida a pesar de tantas dificultades, eres una de las personas que más admiro y quiero, me has enseñado más cosas de las que imaginas, te dedico parte de mi trabajo, porque siempre me he esforzado por ser tan buena como tú, tal vez aún me falta mucho, pero nunca dejaré de esforzarme para lograrlo.

Contenido

ÍNDICE DE TABLAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. ANTECEDENTES	4
3.1 Importancia del agua en la agricultura	4
3.2 Importancia de los fertilizantes en la agricultura	4
3.3 Generalidades del riego	5
3.3.1 Clasificación de los sistemas de riego	6
3.3.2 Generalidades de un sistema de riego presurizado	7
3.3.3 Componentes de un sistema de riego presurizado	7
3.3.4 Características del riego por goteo	22
3.4 Generalidades del cultivo de pimiento.	23
3.4.1 Importancia	23
3.4.2 Necesidades del cultivo	23
3.5 Consideraciones técnicas para el diseño del sistema	25
3.5.1 Proceso de evapotranspiración	25
3.5.2 Sustratos	25
3.5.3 Factores que afectan la cantidad de agua en el suelo	26
3.6 Tratamiento de agua con luz UV	27
3.7 Turbidez del agua	27
3.8 Contaminación de agua por fertilizantes	28
IV. METODOLOGÍA	29
4.1 Cálculo de evapotranspiración ETP	30
4.2 Fuente de abastecimiento	31
4.3 Determinación de requerimientos de agua	32
4.3.1 Lámina neta	32
4.3.2 Requerimiento de lavado	33
4.3.3 Lámina bruta	34
4.3.4 Requerimiento máximo de riego	35
4.4 Determinación del sistema de riego	35
4.4.1 Determinación de emisores	35

4.4.2	Determinación del caudal del módulo a regar.....	36
4.4.3	Cálculo de diámetros y pérdidas de carga de las tuberías principal y secundarias	37
4.4.4	Cálculo de diámetro y pérdidas de carga de manguera de la línea regante.....	39
4.5	Determinación de válvulas de campo	39
4.6	Selección de componentes de cabezal de riego.....	40
4.6.1	Medidor de flujo	40
4.6.2	Válvula mariposa	40
4.6.3	Filtro.....	41
4.6.4	Válvula check.....	41
4.7	Carga hidráulica total	41
4.8	Cálculo de válvula de alivio de presión	42
4.9	Selección de la unidad de bombeo	42
4.9.1	Aspiración positiva neta disponible.....	43
4.9.2	Potencia eléctrica.....	43
4.10	Relación permeabilidad-PPH	44
4.11	Cálculo del drenaje.	45
4.12	Sistema de filtrado y tratamiento de agua	49
4.13	Análisis costo-beneficio del sistema.....	49
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
5.1	Cálculo de evapotranspiración.....	51
5.2	Fuente de abastecimiento de agua	52
5.3	Determinación de requerimientos de agua	52
5.3.1	Lámina neta	52
5.3.2	Requerimiento de lavado	53
5.3.3	Lámina bruta.....	53
5.3.4	Requerimiento máximo de riego	53
5.4	Determinación del sistema de riego	54
5.4.1	Determinación de emisores del sistema de riego	54
5.4.2	Determinación del caudal del módulo a regar.....	55
5.4.3	Cálculo de diámetros y pérdidas de carga de las tuberías principal y secundarias	56
5.4.4	Cálculo de diámetros y pérdidas de carga de manguera de la línea regante.....	62

5.5 Determinación de válvulas de campo	64
5.5.1 Cálculo de válvulas externas	64
5.5.2 Cálculo de válvulas internas	66
5.6 Selección de componentes de cabezal de riego.....	68
5.6.1 Medidor de flujo	69
5.6.2 Válvula mariposa	70
5.6.3 Filtro.....	70
5.6.4 Válvula check.....	72
5.7 Carga hidráulica total	73
5.8 Cálculo de válvula de alivio de presión	75
5.9 Selección de la unidad de bombeo	75
5.9.1 Aspiración positiva neta disponible.....	76
5.9.2 Potencia eléctrica.....	77
5.10 Relación permeabilidad-PPH	77
5.11 Calculo del drenaje	77
5.12 Sistema de filtrado y tratamiento de agua	81
5.13 Análisis costo-beneficio del sistema.....	83
5.14 Consideraciones ambientales	87
VI. CONCLUSIONES	89
REFERENCIAS.....	91
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Necesidades del pimiento	23
Tabla 2. Dimensiones de cada módulo	29
Tabla 3. Plantas por módulo.....	30
Tabla 4. Cantidad de agua disponible en el sustrato.....	32
Tabla 5. Factor de abatimiento de un cultivo.....	33
Tabla 6. Tolerancia relativa de las hortalizas a la conductividad eléctrica (Salinidad)	34
Tabla 7. Eficiencia del medio ambiente.....	35
Tabla 8. Coeficiente de Rugosidad	38
Tabla 9. Diámetros comerciales de Tuberías de PVC.....	39
Tabla 10. Influencia del tamaño de partículas en otras características físicas del sustrato	46
Tabla 11. índice de calor de Thornthwaite para el Municipio de Tasquillo Hidalgo	51
Tabla 12. Cálculo de evapotranspiración	52
Tabla 13. Cálculo de Gastos por módulo	56
Tabla 14. Cálculo del diámetro de tubería principal	57
Tabla 15. Cálculo del diámetro de tubería sub-principal al módulo A.....	57
Tabla 16. Cálculo del diámetro de tubería sub-principal al módulo B.....	58
Tabla 17. Cálculo del diámetro de tubería sub-principal al módulo C (Tramo a)	58
Tabla 18. Cálculo del diámetro de tubería sub-principal al módulo C (Tramo b)	59
Tabla 19. Cálculo del diámetro de tubería sub-principal al módulo D	59
Tabla 20. Cálculo del diámetro de tubería secundaria módulo A	60
Tabla 21. Cálculo del diámetro de tubería secundaria módulo B	60
Tabla 22. Cálculo del diámetro de tubería secundaria módulo C	61
Tabla 23. Cálculo del diámetro de tubería secundaria módulo D.....	61
Tabla 24. Cálculo del diámetro de línea regante módulo A.....	62
Tabla 25. Cálculo del diámetro de línea regante módulo B.....	62
Tabla 26. Cálculo del diámetro de línea regante módulo C.....	63
Tabla 27. Cálculo del diámetro de línea regante módulo D.....	63
Tabla 28. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo A	64

Tabla 29. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo B	64
Tabla 30. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo C	65
Tabla 31. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo D	65
Tabla 32. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo A	66
Tabla 33. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo B	67
Tabla 34. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo C	67
Tabla 35. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo D	68
Tabla 36. Cálculo del diámetro de los componentes del cabezal.....	69
Tabla 37. Características Técnicas del filtro Spin Klin 4x3"	71
Tabla 38. Pérdidas de carga en el sistema	73
Tabla 39. Pérdida de presión en tubería de aspiración	77
Tabla 40. Cálculo de pérdidas de agua por día.....	78
Tabla 41. Cálculo de volúmenes perdidos por tiempo.....	79
Tabla 42. Cálculo de velocidades necesarias	79
Tabla 43. Cálculo de desnivel Módulo A	80
Tabla 44. Cálculo de desnivel Módulo B	80
Tabla 45. Cálculo de desnivel Módulo C	81
Tabla 46. Cálculo de desnivel Módulo D	81
Tabla 47. Costos de producción de ambos sistemas	83
Tabla 48. Costo de inversión de sistema de riego.....	83
Tabla 49. Amortización de la inversión.....	84
Tabla 50. Egresos e Ingresos totales para ambos sistemas	84
Tabla 51. Cálculo de relación Costo-Beneficio ST	85
Tabla 52. Cálculo de relación Costo-Beneficio SR.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los sistemas de riego.....	6
Figura 2. Esquema de un sistema de riego presurizado	8
Figura 3. Reservorio con geomembrana	10
Figura 4. Tanque australiano de 800 m ³	10
Figura 5. Bomba centrífuga de riego	11
Figura 6. Tipos de filtros y características.	13
Figura 7. Inyector Venturi	14
Figura 8. Ejemplo de un manómetro	15
Figura 9. Vista exterior e interior de una válvula de alivio	17
Figura 10. Tuberías de PVC.....	18
Figura 11. Tuberías de polietileno	18
Figura 12. Detalle de conducción de laterales a la tubería terciaria o regante .	20
Figura 13. Etapas fenológicas del cultivo de pimiento.....	24
Figura 14. Esquema del permeámetro de carga constante.....	44
Figura 15. Diagrama de pérdida de carga en válvulas externas	66
Figura 16. Diagrama de pérdida de carga en válvulas internas	68
Figura 17. Diagrama de flujo del Turbo-IR-A.....	69
Figura 18. Pérdidas de carga en válvulas mariposa.....	70
Figura 19. Curva de trabajo de filtro Spin Klin 4x3"	71
Figura 20. Pérdidas de carga en válvula check.....	72
Figura 21. Curva de trabajo real de Bomba IB 2 1/2 Barmesa	76
Figura 22. Diagrama del sistema de filtrado.....	82

I. INTRODUCCIÓN

Según los últimos cálculos de la ONU, la población mundial pasará de los 6 800 millones de personas registradas en 2014 a 9 100 millones en 2050. Es de esperar que, para entonces, haya aumentado la demanda de alimentos. Estos cambios tendrán un gran peso en los sistemas de producción de alimentos, en los recursos naturales y en el ambiente (FAO, 2014).

Desde los años sesenta, la producción mundial de alimentos ha mantenido el paso del crecimiento demográfico mundial, suministrando más alimentos per cápita, pero a costa de los recursos hídricos. Al final del siglo XX, la agricultura empleaba el 70 % de toda el agua utilizada en el mundo, y la FAO estima que el agua destinada al riego aumentará un 14 % para 2030 (FAO, 2002b).

A pesar de que México cuenta con recursos hídricos suficientes en términos de cantidad, la disponibilidad de los mismos para la agricultura se ve afectada por la irregular distribución espacial y temporal de la precipitación, la insuficiencia de obras de regulación, la degradación de las cuencas y de la calidad del agua, lo que finalmente incide en la capacidad para la producción de alimentos (Martínez, 2013).

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).

El contexto anterior y la necesidad de impulsar la agricultura, han llevado al país a establecer sistemas de riego con el fin de aprovechar y utilizar racional y eficientemente el agua disponible para los cultivos (Aceves, 2008).

Para alcanzar el reto de poder incrementar la producción agrícola que demanda la población existe otro factor: Proporcionar a los suelos fuentes de nutrientes adicionales en formas asimilables por las plantas, para incrementar los rendimientos de los cultivos, mediante la utilización de fertilizantes, con cuya aplicación racional se ha demostrado, en los ensayos de larga duración, el gran efecto que ha tenido en el incremento de los rendimientos de las cosechas,

obteniendo a su vez productos con mayor calidad (Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes, 2008).

El uso de fertilizantes en el mundo aumenta año tras año y su precio también se incrementa, esto debido a que el petróleo es fundamental para su elaboración, tanto como materia prima como la energía derivada de este (Martínez *et al.*, 2013).

González (2008) asegura que hasta antes de que entrara en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, México era autosuficiente en la producción de fertilizantes. El desmantelamiento de la industria petroquímica nacional llevó a la desaparición de Fertilizantes Mexicanos (Fertimex). Ahora ese mercado es controlado por un puñado de trasnacionales como Cargill, Archer Daniels, Bayer, Bunge y Dreyfus, aumentando así el costo de los fertilizantes.

La creciente demanda de alimentos a nivel mundial es inminente, por lo cual se deben desarrollar técnicas no sólo para poder abastecerla, si no también, para poder abatir costos en los sistemas, los cuales van en ascenso año con año, sin contar el fuerte impacto ambiental que precede al desmedido uso de recursos. Es por ello que es necesario pensar en el reciclaje de la mayor cantidad de elementos posibles en el proceso de producción.

El presente trabajo pretende encontrar una manera eficaz de disminuir el consumo de insumos, como es el caso del agua y los fertilizantes, esto mediante el reciclaje de agua, así, el agua que entre al sistema y no sea aprovechada por las plantas, sea captada, desinfectada y reutilizada en riegos posteriores, para así lograr abatir costos en los sistemas de producción hortícola y reducir el impacto que representa su uso.

II. OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de riego que, mediante el reciclaje de agua, permita un mejor aprovechamiento del recurso hídrico y la disminución de los costos de producción por fertilización en el cultivo de Pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero.

Particulares

- Determinar la lámina de riego que permita satisfacer las necesidades de agua del cultivo considerando las condiciones climáticas y el sustrato utilizado en el proceso de producción.
- Obtener el diseño hidráulico del sistema de riego que cumpla con los requerimientos del cultivo y permita el reciclaje de agua.
- Determinar la relación costo-beneficio del sistema de riego con reciclaje y compararla con la del sistema de riego tradicional.
- Determinar las leyes de protección ambiental aplicables al proyecto.

III. ANTECEDENTES

3.1 Importancia del agua en la agricultura

El agua como recurso natural renovable, es fundamental para la vida humana y para los procesos de producción; debido a la contaminación y la sobre explotación se convierte en un recurso escaso. Por ello es importante identificar, validar y difundir formas de captación, almacenamiento, distribución y conservación del agua que contribuyan a un uso racional del recurso (Martínez, 2013).

En todo el mundo, el empleo del agua y su gestión han sido un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El agua, es esencial para aprovechar el potencial de la tierra y para permitir que las variedades mejoradas, tanto de plantas como de animales, utilicen plenamente los demás factores de producción que elevan los rendimientos (FAO, 2002b).

La mejora en la utilización del agua tanto en la agricultura de temporal como en la de riego será fundamental para afrontar las situaciones previstas de escasez de agua (FAO, 2002b). La disponibilidad promedio de agua superficial en el país asciende a 410 200 millones de metros cúbicos anuales, de los cuales 68 % se ubican en la región Golfo-Sureste, 14 % en la Pacífico Norte-Centro, 16 % en la Centro y 2 % en la Norte. Las zonas áridas y semiáridas disponen, en forma natural y dispersa, de la menor cantidad de agua para el desarrollo agrícola, en contraste con las zonas del trópico húmedo (Chiapas, Tabasco y Veracruz), donde se concentran las dos terceras partes de la disponibilidad del recurso (Aceves, 2008).

3.2 Importancia de los fertilizantes en la agricultura

La carencia de nutrientes influye negativamente en los rendimientos de los cultivos ya que afecta procesos fisiológicos fundamentales como la síntesis de hidratos de carbono, impide la asimilación de otros micro y macro nutrientes, reduce la resistencia a enfermedades, sequías y heladas; por ello repercute de

manera importante en la cantidad y en la calidad de los alimentos obtenidos (Cartagena, 2010).

Cuando los fertilizantes se utilizan de forma racional tienen efectos para la fertilidad del suelo, el rendimiento y la calidad de las cosechas (Martínez *et al.*, 2013).

3.3 Generalidades del riego

El riego, puede ser definido como la aplicación artificial de agua para suministrar al suelo la humedad requerida por las plantas de cultivo. El desarrollo bajo ciertas condiciones de una agricultura bajo riego, la necesidad de aumentar constantemente la producción, y la cada vez menor disponibilidad de agua para tales fines, hacen necesario sustituir las practicas antiguas de riego por todas aquellas que conducen a un uso racional y adecuado del agua (Leitón, 1985).

De acuerdo a García y Briones (2007) el riego o irrigación tiene dos objetivos primordiales:

- Suministrar la humedad esencial para el crecimiento de la planta
- Lavar o diluir las sales en el suelo

La importancia del riego está condicionada a la demanda y necesidades del cultivo, en función de las limitaciones climáticas de la zona. (Leitón, 1985).

El agua que se provee a las plantas por medio de la irrigación, tiene un efecto benéfico más allá de cubrir sus necesidades, ayuda a enfriar el suelo y la atmósfera ocasionando un mejor ambiente para el crecimiento de la planta (García y Briones, 2007).

El primer objetivo de la irrigación es suministrar la humedad necesaria y puede ser realizado de varias formas. Sin embargo, sin importar el método usado, el propósito de la irrigación, es reponer periódicamente el almacenamiento de la humedad del suelo en la zona radicular de la planta. El único método existente de riego, que funciona bajo otro esquema es el riego por goteo, ya que directamente reemplaza el agua consumida por la planta en una base casi diaria, en lugar de esperar hasta que la humedad disponible haya sido consumida a un

valor específico (usualmente 50 o 60 % de la capacidad de retención de humedad en la zona radicular) (Leitón, 1985).

Según Tarjuelo (1999), las ventajas que proporciona el riego por goteo son las siguientes:

- Asegurar la continuidad en la explotación agrícola, al permitir la obtención de más cosecha en condiciones de secano cuando en el mercado la demanda es mayor y los precios más favorables para el productor.
- Permite establecer cultivos cuando las condiciones para el crecimiento y producción son las más adecuadas, facilitando las labores culturales y mejorando la calidad del producto.

3.3.1 Clasificación de los sistemas de riego

Según la Facultad de Ciencias Agropecuarias de Argentina (2010), los sistemas de riego son clasificados de acuerdo al método de aplicación del agua, los que utilizan la presión atmosférica para la conducción y la aplicación del agua y los de riego presurizado que utilizan sistemas de conducción cerrados y son presurizados por algún medio (Figura 1).



Figura 1. Clasificación de los sistemas de riego

Los métodos de riego por gravedad y por aspersión, se consideran convencionales. Actualmente, el riego de superficie o por gravedad es la técnica más común entre los pequeños agricultores, porque no requiere operar ni mantener equipos hidráulicos presurizados. Por esta razón, es probable que el riego por gravedad domine también en 2030, aunque consuma más agua y en ocasiones cause problemas de anegamiento y salinización (FAO, 2002a).

3.3.2 Generalidades de un sistema de riego presurizado

En estos sistemas, el agua se conduce a presión por tuberías y laterales de riego hasta las plantas donde es aplicada desde emisores en forma de gotas (Goteo) o de fina lluvia (Microaspersión); también permiten la aplicación de fertilizantes junto con el agua de riego (fertirrigación) (Oviedo y Liotta, 2003).

Estos sistemas demandan un alto consumo de energía para el presurizado mediante bombeo y deben tener un eficiente sistema de filtrado para evitar obturaciones. Presentan una alta eficiencia de aplicación (90-95 %) del agua y para su instalación, por lo general, no necesitan de gran preparación del terreno (COFUPRO, 2010). Para su correcto funcionamiento y manejo, demandan de personal capacitado, ya que el riego presurizado mal utilizado puede causar problemas graves al cultivo (por excesos como por déficits hídricos) y pérdidas económicas (Osorio *et al.*, 2010).

3.3.3 Componentes de un sistema de riego presurizado

Un sistema de riego presurizado consiste en un suministro de energía que puede provenir de un desnivel considerable o de una motobomba, la cual es parte de un sistema de carga generalmente lo constituyen también, el filtro, el medidor de presión y la unidad de control automático (Palomino, 2009).

De acuerdo a Liotta (2015) un equipo de riego básicamente consiste en:

- Fuente de abastecimiento de agua.
- Cabezal de riego
- Tuberías de conducción

- Laterales de riego
- Emisores

El sistema consta de sectores diferentes (Figura 2) que se denominan:

- Subunidad de riego: Es el área que se riega con una válvula o sección de campo.
- Unidad de riego: es la superficie que se riega simultáneamente tomando un conjunto de subunidades de riego.
- Operación de riego: Es la superficie que se riega a la vez en el conjunto de unidades de riego.

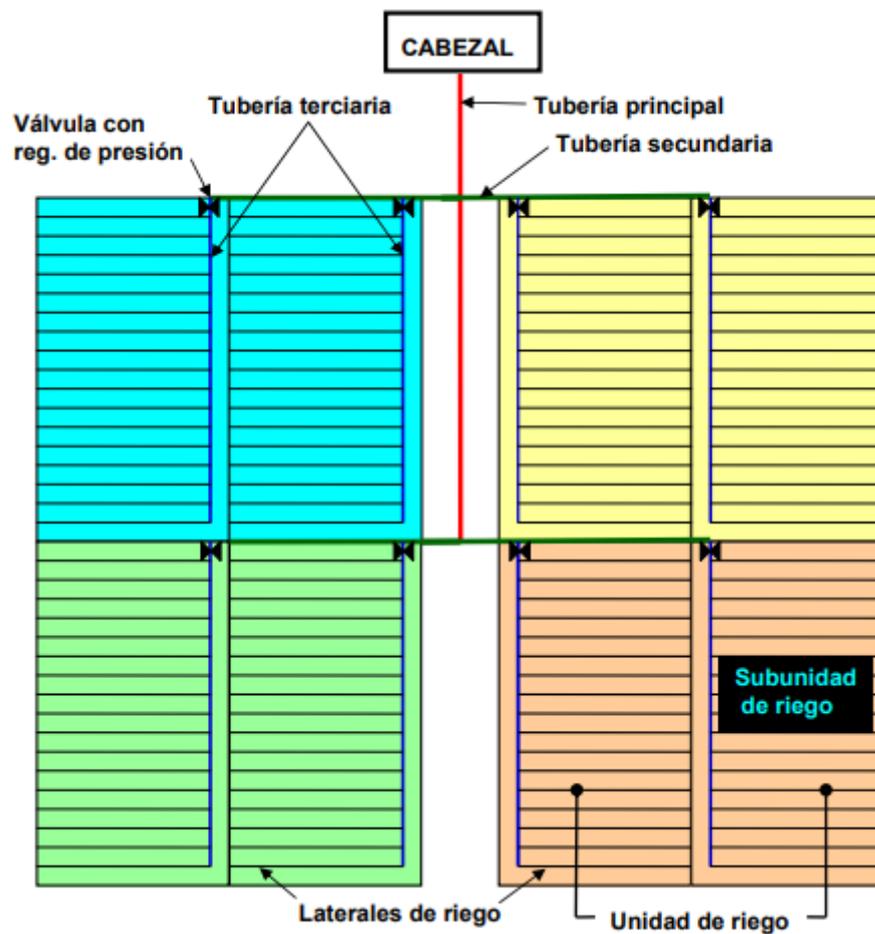


Figura 2. Esquema de un sistema de riego presurizado

Todo sistema de riego requiere de un diseño agronómico en el cual se deben tener en cuenta las características del suelo, los cultivos a realizar y la distancia

de plantación. Esta información proporciona datos básicos para el posterior diseño hidráulico (Osorio, 1994).

En el diseño hidráulico se determina en primer lugar la subunidad de riego, donde se tiene en cuenta la tolerancia de presiones y caudales, pérdidas de carga, diámetros de tubería. Posteriormente se diseña la unidad de riego, el trazado y diámetros de tuberías primarias, secundarias y el cabezal de riego (Pizarro, 1990).

En general, se diseña de tal manera que las unidades de riego que constituyen una operación estén ubicadas en sectores separados a fin de equilibrar presiones y dividir los caudales para emplear menor diámetro en las tuberías (Palomino, 2009).

Fuentes de abastecimiento de agua

El abastecimiento para el equipo puede provenir de la disposición de agua de la red de riego en aquellas zonas con derecho o de extracción de agua subterránea a través de perforaciones (Palomino, 2009).

En las zonas con derechos de riego, el turno se almacena en reservorios, cuyas dimensiones dependen de la superficie a regar. Su función es la de abastecer de agua en forma permanente el sistema (Liotta, 1999).

Existen varios tipos de reservorio, por ejemplo, aquellos que usan una membrana impermeable como el que se muestra en la Figura 3. Se utiliza una membrana de polietileno a la acción de los rayos ultravioleta y de un espesor que varía entre 500 micrones y 3 mm. Las juntas deben quedar bien soldadas a fin de evitar fugas y pérdidas por infiltración. Deben ser protegidas con un cierre perimetral para evitar su deterioro, principalmente por el ingreso de animales (Liotta, 2015).



Figura 3. Reservorio con geomembrana

Otro tipo de reservorio es el tanque australiano (Figura 4), de forma circular con base y paredes ensambladas de concreto.



Figura 4. Tanque australiano de 800 m³

Cabezal de riego

Según Palomino (2009), el cabezal de riego es el conjunto de elementos que dominan a toda la instalación. Los componentes principales son:

- El equipo de bombeo que provee el caudal y la presión suficiente para el funcionamiento del equipo.

- Sistema de filtrado, compuesto por uno o varios filtros de acuerdo al caudal, e impurezas y válvulas de retrolavado.
- Unidad de fertilización.
- Medidor de flujo
- Válvulas de aire, reguladoras de presión y de alivio
- Válvula mariposa
- Válvula de alivio de presión
- Válvula check

César y Vázquez (2003) mencionan que, el cabezal constituye el elemento decisivo del sistema, pues a través de él se pueden realizar las siguientes operaciones:

- Eliminar sólidos en suspensión
- Aplicar al agua los fertilizantes y productos químicos
- Controlar la dosis de agua aplicada

Equipo de bombeo

Está constituido por una o más bombas cuyo tamaño y potencia depende de la superficie a regar. El dimensionamiento de la bomba debe ser tal que la presión requerida sea suficiente para vencer las diferencias de cota y las pérdidas de carga de todo el sistema. Las más usadas son de acción centrífuga (Figura 5) abastecidas por energía eléctrica y en menos grado las accionadas con motores a explosión (Palomino, 2009).



Figura 5. Bomba centrífuga de riego

Sistema de filtrado

El equipo de filtrado es fundamental para evitar posibles obstrucciones en el conducto del gotero. Los filtros más comunes son los de arena, de malla o de anillas. Generalmente, los filtros de malla y de anillas se utilizan en el cabezal de riego y los filtros de malla en la red de distribución (García y Briones, 2007).

Las obstrucciones se pueden producir por: partículas minerales en suspensión (arcilla, limo, arena), materia orgánica o precipitados (principalmente carbonatos). Para evitar la entrada de estos elementos al sistema se deben tomar precauciones seleccionando adecuadamente los filtros que retendrán estas partículas (Palomino, 2009).

Los elementos del sistema de filtrado requieren un mantenimiento periódico procediendo a la limpieza cuando se requiera por lo cual es útil colocar manómetros antes y después de éstos, ya que las pérdidas de presión elevadas indicarán un exceso de impurezas en el filtro (Liotta, 2015).

Tipos de filtros

Según el Ministerio de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente España (2015) los filtros son clasificados según el elemento filtrante.

En la Figura 6 se muestran los tipos de filtro y las principales características de los mismos.



Filtros de gravedad

- Usan la gravedad en vez de la presión del agua para hacerla pasar a través de su malla.
- Pueden ser de dos tipos: Rejillas que se usan en las acequias a la entrada del agua para retener elementos tales como ramas y hojas y decantadores se utilizan para separar principalmente arenas.



Arena- grava

- Retienen contaminantes orgánicos (algas, restos orgánicos) e inorgánicos (precipitados químicos). Es el tipo de filtro más adecuado para filtrar aguas muy contaminadas con partículas pequeñas.
- Depósito de forma cilíndrica que produce el filtrado al hacer pasar el agua a través de varias capas superpuestas de arena de diferente graduación, siendo más fina la capa superior



Malla

- Las partículas contaminantes quedan retenidas en la superficie de la malla, elemento que realiza la filtración. Para aguas con sólidos en suspensión, como las procedentes de pozos.
- El agua penetra en el interior del cartucho de malla y se filtra a través de sus paredes, pasando a las periferias del filtro y posteriormente a la conducción de salida.



Anillas

- El elemento filtrante está compuesto de una pila de anillas ranuradas o con superficie rugosa, entre cuyas caras quedan retenidas las partículas contaminantes. Funcionamiento especialmente positivo frente a algas y partículas orgánicas.
- Las anillas ranuradas se aprietan unas contra otras para roscar la carcasa, formando un cilindro de filtrado que deja pasar el agua y retiene aquellas partículas cuyo tamaño sea mayor al del paso de las ranuras

Figura 6. Tipos de filtros y características.

Fuente: Elaboración propia con datos de Ministerio de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente España (2015), Boswell (1990), García y Briones (2007), Casas (2014), Blair (1979), Liotta (2015), Oblaré (2011).

Unidad de fertilización

La incorporación de fertilizantes y otros productos vía riego, se hace en el cabezal, normalmente antes del filtro de malla o en la cabeza de las unidades de riego (cuando se riegan diferentes cultivos), son empleados para inyectar al sistema fertilizantes y otros elementos que requiera el cultivo (Palomino, 2009).

Inyector Venturi

Estos inyectores de agroquímicos funcionan con base al principio de la succión del vacío creado por un avanzado principio de Venturi, que permite operar a pequeñas presiones diferenciales. A medida que el agua fluye a través de un paso o conducto que de manera convergente se amplía en forma gradual. Para que la bomba funcione, es necesaria una presión diferencial entre el agua y los agroquímicos que entran en el inyector. Esta presión diferencial oscila entre el 12 y el 50 % (Liotta, 2015).

Estos inyectores Venturi (Figura 7), son populares por su sencillez y bajo costo (Palomino, 2009).

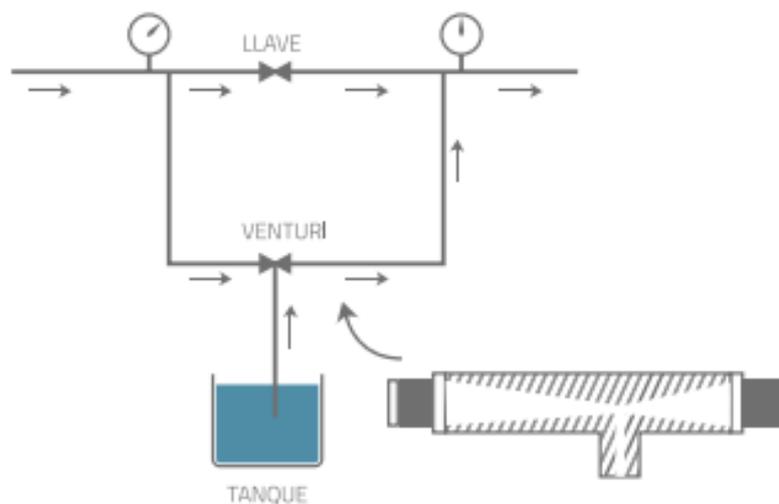


Figura 7. Inyector Venturi

Aparatos de control y medición

Manómetros

El manómetro (Figura 8) es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local (Lorient, 1964).

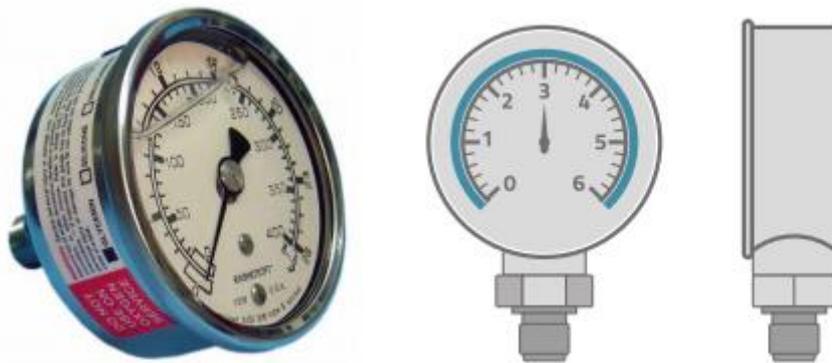


Figura 8. Ejemplo de un manómetro

La presión suele medirse en atmósferas (atm); en el sistema internacional de unidades (SI), la presión se expresa en Newtons por metro cuadrado. La atmósfera se define como 101.325 Pa, y equivale a 760 mm de mercurio en un barómetro convencional. Cuando los manómetros deben indicar fluctuaciones rápidas de presión se suelen utilizar sensores piezoeléctricos o electrostáticos que proporcionan una respuesta instantánea (Gerhart, Gross y Hochtein, 1995).

La mayoría de los manómetros miden la diferencia entre la presión del fluido y la presión atmosférica local, entonces se debe sumar ésta última al valor indicado por el manómetro para hallar la presión absoluta; cuando se obtiene una medida negativa en el manómetro es debida a un vacío parcial (Gerhart, Gross y Hochtein, 1995).

Medidor de flujo

Cumplen la función de medir el caudal instantáneo y totalizado y se instala en el cabezal a la salida de los filtros (Palomino, 2009).

Controlador de riego

Los controladores se instalan en el cabezal de riego y manejan las operaciones de riego en forma secuencial; funcionan con válvulas solenoides conectadas al controlador y cada válvula de campo inicia y finaliza el riego en función de la orden enviada por la computadora (Liotta, 2015).

Algunas de las ventajas que presenta son:

- Mejor control de la frecuencia y láminas de riego
- Programación de retrolavado y fertiirrigación
- Control de fallas y averías
- Almacenamiento de datos de riego
- Ahorro de tareas manuales

Válvulas de aire

El control de aire y vacío es esencial para garantizar la seguridad, larga duración, eficiencia y buen desempeño de los sistemas de riego es necesario permitir que el aire salga de las tuberías (TORO, 2012).

Las válvulas y ventosas permiten realizar las siguientes funciones (TORO, 2012):

- Evitar el golpe de ariete
- Eliminar el aire disuelto o atrapado
- Evitar la formación de Vacío en las Tuberías
- Evitar la formación de Vacío en las Líneas Laterales

Válvulas de alivio

Las válvulas de alivio (Figura 9) también llamadas de seguridad o sobre presión, tienen la función de abrir el sistema a la atmósfera cuando la presión supera límites preestablecidos, protegiendo las tuberías y equipos de la red, de una operación anormal del sistema (El Galeón, 2010).



Figura 9. Vista exterior e interior de una válvula de alivio

El tipo más común es una válvula de asiento en la que el obturador permanece cerrado por la acción de un muelle o de un contrapeso; cuando la presión del fluido alcanza un valor prefijado, se produce la apertura del obturador (Pachano y Pérez, 2007).

Tuberías de conducción

Las tuberías más empleadas son de cloruro de polivinilo (PVC) (Figura 10) y de polietileno (Figura 11). El PVC se usa en diámetros superiores a 30 mm para las líneas de distribución primaria secundaria y terciaria (Liotta, 2015).



Figura 10. Tuberías de PVC



Figura 11. Tuberías de polietileno

El polietileno no reconstituido y con incorporación de negro de humo es flexible y muy resistente al sol. Por eso es común verlo en laterales de riego que están expuestos a la radiación y al deterioro por el manejo del cultivo. Es más económico que el PVC en diámetros inferiores a 30 mm. (Liotta, 2000). El polietileno más utilizado es el de baja densidad (PEBD) que es más flexible y resistente al agrietamiento que el de alta densidad. Resisten presiones de 2 a 2.5 kg/cm² y una duración media de 10 años (Pizarro, 1990). Las tuberías se clasifican por clase en relación a la presión que son capaces de soportar (Palomino, 2009).

Tubería principal

Se denomina línea principal, de conducción, o de distribución a aquella que permite la conducción del agua hasta cada una de las válvulas de seccionamiento, a las líneas de riego o laterales sobre las que van los emisores de riego (Mendoza y Banda, 1998).

La línea principal puede ser:

- **Fijas.** Regularmente enterradas, elaboradas En materiales de asbesto-cemento, cobre, fierro y PVC, siendo estas últimas las más utilizadas por lo económico y facilidad de Instalación.
- **Portátiles.** Estas pueden ser de aluminio, PVC o polietileno (pueden funcionar también en sistemas fijos o semifijos).

Cuando se determina el empleo de una línea principal de asbesto-cemento se usa clase A-S, A-7, A-10 y A-14 de acuerdo a las presiones de trabajo del proyecto. En el caso del PVC se utiliza del tipo hidráulico en sistema inglés RD-13.5, RD-41, RD-32.5 y RD-26, o también en sistema métrico clase C-5, C-7 y C-10. En ocasiones, se emplean de fierro cédula 40 6 de cobre tipo "M" y los cruceros del mismo material o de fierro fundido.

Debido a las características de cada material es importante tomar en cuenta todas las recomendaciones de los fabricantes antes de empezar a realizar la instalación del material, tales como; dimensiones de cepas, forma de hacer las uniones, pruebas hidráulicas, atraques, rellenos de las cepas que no dañen las tuberías y purga de las líneas (Boswell, 1990).

Laterales

Son las líneas que van a distribuir el agua a cada dispositivo de riego proporcionando a cada uno el gasto requerido con una presión adecuada, estas pueden ser fijas o portátiles y los diámetros más utilizados son de 2", 3" y 4 (Liotta, 2015).

En ambos tipos de tuberías al cesar la presión en las líneas éstas se drenan, lo cual facilita el desarme y traslado a la siguiente posición de trabajo. Las laterales

se conectan entre sí a partir de coples y, en cada cople, existe una salida para el emisor (Palomino, 2009).

Al final de cada línea lateral existe un tapón. Estas líneas son las que portan las líneas terciarias o regantes como se muestra en la Figura 12 (Liotta, 2000).

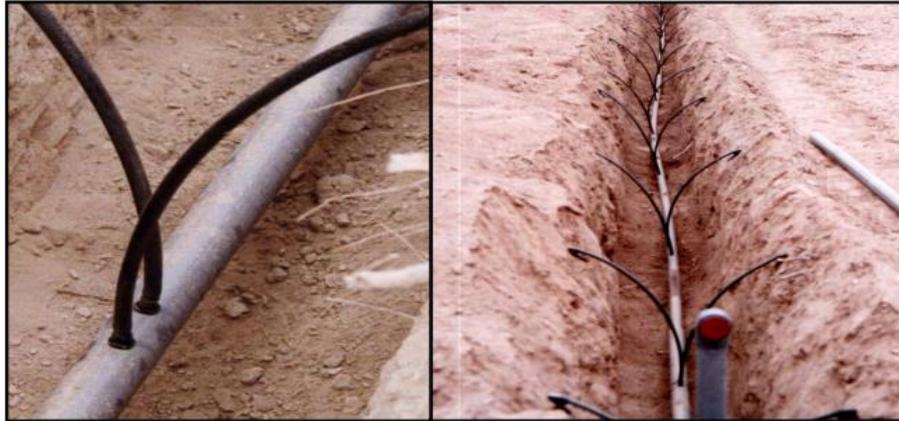


Figura 12. Detalle de conducción de laterales a la tubería terciaria o regante

Emisores

De acuerdo al manual de riego de Liotta (2015), los emisores son los dispositivos instalados en el lateral que controlan la salida del riego. Deben reunir las siguientes características:

- Caudal uniforme y poco sensible a la variación de presión
- Poca sensibilidad a las obturaciones
- Elevada uniformidad de fabricación
- Resistencia a productos químicos y al ambiente
- Costo reducido
- Estabilidad en la relación caudal-presión en su vida útil
- Pérdida de carga reducida en sus conexiones
- Resistencia al ataque de roedores e insectos

Los emisores más utilizados son los goteros, cintas de riego y aspersores.

Goteros

Son dispositivos que irrigan agua y presentan una entrada de agua sin permitir que partículas sólidas mayores de 150 micras entren al sistema. (Infoagro, 2006).

De acuerdo a Zuñiga (2004) podemos clasificar los goteros según el régimen de flujo:

- **Autolimpiantes.** Los que inician el proceso al recibir presión de entrada únicamente, o aquellos que se autolimpian de forma constante durante el riego.
- **Vórtex.** El movimiento del agua al entrar en el dispositivo es tangencial a la pared circular, debido a la cámara circular que los compone, produciéndose pérdida de carga y flujo en vórtice.
- **Goteros auto compensados.** En este tipo de goteros la autorregulación se logra mediante un pequeño dispositivo de silicona que se deforma según la presión, disminuyendo el paso del agua limitando el caudal, siendo de flujo turbulento o de transición.

Cintas de riego

La cinta de riego es una manguera que cuenta con goteros cada determinada distancia, con lo cual se pueden regar cultivos (Hydro Enviroment, 2018).

Las cintas de riego con emisores o goteros tipo agujero o de ranura se clasifican, según Palomino (2009) por su descarga en:

- **Goteros de alto flujo (HF)** con descarga de 1.00 LPH (cintas con emisores distanciados a 0.30 m)
- **Goteros de bajo flujo (LF)** con descarga de 0.5 LPH (cinta con emisores a 0.15 m).

Aspersores

Un aspersor es un dispositivo que proyecta uno o más chorros de agua rotativos, y que permite el riego de aspersion en forma de lluvia sobre la superficie de riego.

Son formados por boquillas o toberas que giran alrededor de su eje impulsado por la presión de agua lo que permite regar una superficie circular, cuyo radio va a depender de la presión de agua y del tipo de aspersor (González, 2015).

- **Aspersores Fijos.** Fabricados en cuerpo de bronce o plástico, con una boquilla ranurada en todo su perímetro, o bien, en una fracción de círculo según el patrón de cobertura deseado. Estos aspersores operan a bajas presiones y su uso se limita a instalaciones fijas (de jardinería) (Mendoza y Banda, 1998).
- **Aspersores giratorios o de rotor.** El cuerpo del aspersor lleva una o dos boquillas y un brazo oscilatorio que con el impacto del chorro del agua produce el movimiento giratorio del aspersor (Boswell, 1990).

3.3.4 Características del riego por goteo

Este sistema representa un importante avance al conseguir la humedad en el sistema radicular aportando gota a gota el agua necesaria para el desarrollo de la planta, ya que a diferencia del riego tradicional y de la aspersión el agua se conduce desde la fuente de abastecimiento a través de tuberías y de ahí a su destino produciendo una zona húmeda restringida a un espacio concreto formando un bulbo de humedad, por consiguiente, no se moja todo el suelo si no la parte necesaria para el desarrollo de las raíces (Palomino, 2009).

García y Briones (2007) mencionan las condiciones siguientes para el riego por goteo:

- Regar diariamente o cuando menos cada tercer día en intervalos establecidos.
- Aplicar agua a la zona radicular, de tal manera que por lo menos una parte de esta zona se encuentre en condiciones de saturación.
- Puede aplicarse el fertilizante, especialmente el nitrogenado a través del agua de riego.
- La cantidad de agua que se aplique debe ser la necesaria para reponer el uso consuntivo de las plantas, en el intervalo de riego transcurrido

- Es necesario provocar un vigoroso crecimiento de raíces, sin afectar la estabilidad de las plantas, para que exploren al máximo posible las capas superficiales del suelo.

3.4 Generalidades del cultivo de pimiento.

3.4.1 Importancia

El pimiento dulce ocupa el segundo lugar en importancia económica y productiva dentro del mercado de los condimentos (Depestre *et al.*, 1997).

El cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) es una de las actividades más importantes en el sector hortícola de México (FAO, 2007). Siendo este el tercer exportador de chiles pimientos a nivel mundial (SAGARPA, 2016). Según el SIAP (2017) la producción en el año 2016 fue de 104.4 mil toneladas con un valor de mil 491 millones de pesos y los estados que se destacan en producción son Guanajuato, Jalisco, Querétaro, Durango y Coahuila.

3.4.2 Necesidades del cultivo

Las necesidades básicas del cultivo se encuentran reflejadas en la siguiente tabla:

Tabla 1. Necesidades del pimiento

Parámetro	Máximo	Mínimo	Óptimo
Temperatura (°C)	24	14	22-15
Requerimiento hídrico (m³/ha)	3000	2000	2250-2450
Humedad (%)	80	60	70-75
Luz (cal. cm⁻².min⁻¹)	0.8	0.3	0.4-0.5

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO (2002c), León (2011), Batal y Smittle (1981).

Fenología del cultivo

El pimiento es un cultivo que necesita de calor para su cultivo, por lo que se desarrollan mejor en climas cálidos o épocas veraniegas. Se pueden empezar a germinar a finales del invierno para trasplantar durante la primavera., a excepción de que se cuente con sistemas de regulación de temperatura. (Mundarain, Coa y Cañizares, 2005).

En la Figura 13 se muestra la fenología completa del cultivo.



Figura 13. Etapas fenológicas del cultivo de pimiento

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA (2014)

3.5 Consideraciones técnicas para el diseño del sistema

3.5.1 Proceso de evapotranspiración

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie. El agua se evapora de una variedad de superficies (SAGARPA, 2012). La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas (SAGARPA, 2012).

Ambos procesos ocurren simultáneamente y se le conoce como evapotranspiración (ETP). La evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo, esta disminuye a lo largo del ciclo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo, de esta manera en las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo la transpiración se convierte en el proceso principal (FAO, 2002b).

3.5.2 Sustratos

Un sustrato es un medio material en el que se desarrollan las raíces de las plantas, capaz de proporcionar a la planta el agua y los elementos nutritivos que demande, y a las raíces el oxígeno necesario para su respiración, constituye el sostén y soporte para el desarrollo del sistema radicular de las plantas (Mora, 1999).

Se pueden clasificar, según su origen y proceso de manufacturación, de la siguiente forma:

- Orgánicos, los más utilizados son las turbas, acícula de pino, cascarilla de arroz, y aserrín.
- Inorgánicos
 - De origen natural, existen 2 tipos los que no sufren proceso alguno previo a su uso como las gravas, las arenas y las tierras de origen

volcánico y los que se obtienen mediante procesos de manufacturación incorporados (normalmente tratamientos con calor), como la lana de roca, la vermiculita y la perlita

- Sintéticos como el poliestireno y el poliuretano

Tezontle

El tezontle es un material considerado inerte, con valores de pH cercanos a la neutralidad, baja CIC, buena aireación, y con capacidad de retención de humedad que es dependiente del diámetro de la partícula; adicionalmente no contiene sustancias tóxicas y tiene estabilidad física (Bastida, 1999).

3.5.3 Factores que afectan la cantidad de agua en el suelo

Existen diversos factores que afectan o favorecen el porcentaje de agua que se encuentra retenido en el suelo o sustrato.

- **Velocidad de infiltración.** Velocidad con la cual el agua penetra en el suelo. Generalmente se mide con base en la profundidad (en mm) de la lámina de agua que logra penetrar en el suelo en una hora (CIMMYT, 2013). Al tratarse de rocas este factor es denominado como permeabilidad.
- **Lamina de riego.** Es la cantidad de agua que debe ser aplicada durante el riego con el fin de cubrir el agua que ha utilizado el cultivo durante la evapotranspiración (Castro, 2009).
- **Uso consuntivo** Cantidad total de agua que necesita un cultivo determinado para realizar la evapotranspiración y la construcción celular, desde la plantación hasta la cosecha, en un régimen climático específico (SAGARPA, 2015)
- **Requerimiento de lavado** Es la cantidad mínima de agua de riego que debe drenar a través de la zona radicular de un cultivo para controlar la salinidad del suelo a un nivel determinado (Pérez, 2014). Este término hace referencia a la necesidad de remover las sales remanentes en el perfil radicular después que se han sucedido los procesos de

evapotranspiración, consiste en la aplicación de un exceso de agua mayor que la necesaria para el desarrollo de las plantas (García, 2015).

3.6 Tratamiento de agua con luz UV

La purificación del agua con luz ultravioleta (UV) se hace con lámparas que producen UV-C (de onda corta) o UV Germicida en donde con el fin de aprovechar al máximo las propiedades germicidas de esa longitud de onda, casi toda la energía de la lámpara UV está concentrada en la región de los 254 nanómetros y la calidad del agua después del tratamiento se verá reflejada en el nivel de turbidez de la misma (Mosqueira, 2014).

La luz ultravioleta presenta un método alternativo al uso del cloro y el ozono en muchas aplicaciones de tratamiento tanto de agua potable como de aguas residuales. La UV brinda una desinfección efectiva sin generar subproductos de desinfección problemáticos (Wright y Cairns, 2012).

La desinfección por rayos ultra-violeta permite la recirculación continua del agua de riego de forma segura, teniendo como resultado, ahorro de fertilizante, ya que los fertilizantes no se van directamente por el drenaje y no contaminan el medio ambiente (Agridor, 2015).

3.7 Turbidez del agua

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua (Restrepo *et al.*, 2007).

La turbidez se mide en NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez. El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua (Mosqueira, 2014).

Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 0.5 NTU, mientras que en el caso de la industria alimenticia, agricultura y ganadería no debe rebasar el valor de 1.0 NTU (Wright y Cairns, 2012).

3.8 Contaminación de agua por fertilizantes

La contaminación de las aguas subterráneas por los productos y residuos agroquímicos es uno de los problemas más importante en casi todos los países desarrollados y, cada vez más, en muchos países en desarrollo. La contaminación por fertilizantes se produce cuando éstos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos, o cuando se eliminan por acción del agua o del viento de la superficie del suelo antes de que puedan ser absorbidos (FAO, 2010).

La Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (citado en FAO, 1997) indica que los principales problemas que infieren en la contaminación por fertilizantes son:

- La fertilización de las aguas superficiales (eutrofización) da lugar, al crecimiento explosivo de algas, que ocasiona trastornos en el equilibrio biológico. Así ocurre tanto en las aguas continentales (acequias, ríos, lagos) como costeras.
- El agua subterránea se contamina fundamentalmente por la presencia de nitratos.

IV. METODOLOGÍA

El lugar donde se llevó a cabo la instalación del sistema de riego y reciclaje de agua fue en los invernaderos de la empresa “Agroindustrias Terramex®” localizada en el municipio de Tasquillo, Hidalgo, México. Las normales climatológicas dadas por la latitud y longitud de la zona (Anexo 1), fueron las utilizadas como base en el diseño.

Coordenadas del terreno: Latitud: 20°32'58.5" N, Longitud: 99° 20'07" W.

El terreno de manera inicial ya contaba con dos invernaderos los cuáles fueron divididos en 4 módulos para facilitar el manejo del cultivo, teniendo una superficie total de 23450.46 m².

Tabla 2. Dimensiones de cada módulo

Módulo	Ancho (m)	Largo (m)	Superficie (m ²)
A	46.8	76.8	3594.24
B	43.6	76.8	3348.48
C	43.2	182.6	7888.32
D	43.2	201.6	8709.12
		Total	23540.16

Esta infraestructura fue creada con el fin de producir pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) en sistema hidropónico, cultivados en bolsas de polietileno negro, de diámetro de 0.30 m y altura de 0.30 m, utilizando tezontle como sustrato, colocadas sobre una canaleta para colectar el agua drenada, situadas sobre un piso de cobertura (ground cover).

El marco de plantación es de 0.30 m entre plantas, y 1.92 m entre líneas, a doble hilera, considerando así una población total de 68040 plantas (Tabla 3) y una densidad de 3 plantas por m².

Tabla 3. Plantas por módulo

Módulo	Líneas	Plantas por línea	No. De plantas
A	36	300	10800
B	36	290	10440
C	93	240	22320
D	102	240	24480
		Total	68040

Todas las características antes mencionadas, fueron necesarias para llevar a cabo, el diseño del sistema, y así cubrir de manera ideal las necesidades del agua del cultivo.

4.1 Cálculo de evapotranspiración ETP

El cálculo de la evapotranspiración se basó en las normales climáticas de la zona de cultivo (Anexo 1), utilizando el método de Thornthwaite, con base en las temperaturas máximas y mínimas diarias

La fórmula de Thornthwaite para la determinación de la ETP sin ajustar es la siguiente:

$$e = 16 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a$$

Donde:

e= Evapotranspiración sin ajustar (mm).

I= índice calórico, constante para la región dada y es la suma de 12 índices mensuales i.

$$I = \sum_j i; j = 1, \dots, 12.$$

Donde i es función de la temperatura media mensual expresada de la siguiente manera:

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

T= temperatura media mensual (°C).

a= exponente empírico, función de I.

$$a = (0.0000000675)(I^3) - +(0.0000771)(I^2) + (0.01792)(I) + 0.49239$$

Para el cálculo de la ETP de un mes determinado es preciso corregir la ETP sin ajustar (e) mediante un coeficiente que tenga en cuenta el número de días del mes y horas luz de cada día, en función de la latitud. Para lo cual se introduce el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que deberá multiplicar a la ETP sin ajustar (e) para obtener la ETP según Thornthwaite (mm/mes).

$$ETP = eL$$

Donde:

ETP= Evapotranspiración según Thornthwaite (mm)

e= Evapotranspiración sin corregir (mm)

L= Factor de corrección del número de días del mes (N_d) y la duración astronómica del día (N_i)

$$L_i = \left(\frac{Nd_i}{30}\right)\left(\frac{N_i}{12}\right)$$

El valor de L se obtiene del Anexo 3

4.2 Fuente de abastecimiento

La fuente de abastecimiento del proyecto es un pozo que se encuentra en los terrenos de la empresa Agroindustrias Terramex®, del cuál se tiene la concesión de extracción del recurso hídrico.

Se obtuvo el resultado de la conductividad eléctrica del agua del análisis de laboratorio proporcionado por la empresa (Anexo 4)

4.3 Determinación de requerimientos de agua

4.3.1 Lámina neta

De acuerdo a Roldan (1995) para determinar los requerimientos de agua el primer paso es calcular la lámina neta del cultivo para lo cual se utiliza la fórmula siguiente:

$$Ln = (Lad)(F)$$

Donde;

Ln= Lámina neta (mm)

Lad= Lámina de agua disponible por metro de sustrato (mm) (Tabla 4)

F= Factor de abatimiento del cultivo (Tabla 5)

De acuerdo al tipo de sustrato utilizado, con base en datos de la empresa NETAFIM (2005) se establece que la lámina de agua disponible por metro de sustrato es la siguiente:

Tabla 4. Cantidad de agua disponible en el sustrato

Sustrato	Contenido de agua disponible (%)	Contenido de agua disponible (cm/metro de sustrato) (Lad)
Tezontle	12	12

Fuente: NETAFIM (2005).

Para el caso particular se usó el factor de abatimiento del Jitomate, ya que es el valor calculado que por características botánicas y pertenecer a la misma familia se va a asemejar más al pimiento.

El factor de abatimiento que corresponde al cultivo se obtuvo de la tabla siguiente:

Tabla 5. Factor de abatimiento de un cultivo

Cultivo	Factor	Cultivo	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
Críticos	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).

4.3.2 Requerimiento de lavado

Una vez obtenida la lámina neta, se realizó el cálculo del requerimiento de lavado, la cantidad de agua necesaria depende de la concentración de sales en el agua de riego y del nivel de salinidad permisible en la zona de raíces.

Con base en lo anterior el laboratorio de Salinidad de la USDA (1954) sugirió que para un cultivo específico que requiere el paso de una determinada cantidad de agua a través del perfil radicular para prevenir la acumulación de sales a un nivel que pueda afectar las plantas se tiene un requerimiento de lavado.

$$RL = \frac{CE_{ai}}{CE_m}$$

Donde;

RL= Requerimiento de lavado

CEA = Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m) (Anexo 4)

CEm = Conductividad eléctrica máxima tolerable por el cultivo (dS/m) (Tabla 6)

Tabla 6. Tolerancia relativa de las hortalizas a la conductividad eléctrica (Salinidad)

Nivel	Hortalizas
Tolerante CEm= 6 -10 dS/m	Espárrago
Moderadamente Tolerante CEm=3-6 dS/m	Alcachofa, betabel, calabaza
Moderadamente sensibles CEm= 1.5-3 dS/m	Apio, papa, espinaca, pimiento, melón sandía.
Sensibles CEm<1.5 dS/m	Cebolla frijol, zanahoria,

Fuente: Feuchter (2000).

4.3.3 Lámina bruta

La lámina bruta indica la lámina de riego a aplicar en un mes de cultivo, basada en la eficiencia del sistema, de acuerdo al tipo de medio ambiente en donde se encuentre,

$$Lb = \frac{\frac{Ln}{E}}{1 - RL}$$

Donde;

Lb= Lámina bruta del cultivo (mm/mes)

Ln= Lámina neta (mm)

E= Eficiencia de aplicación del sistema de riego (Medio ambiente) (Tabla 7)

De acuerdo al tipo de clima se debe analizar el medio ambiente al cual se hace referencia para poder utilizar uno de los valores contenidos en la Tabla 7 y sustituirlo en el dato de eficiencia del sistema.

Tabla 7. Eficiencia del medio ambiente

Medio ambiente	Eficiencia (%)
Seco	80
Húmedo	90

Fuente: Roldan (1995).

4.3.4 Requerimiento máximo de riego

De acuerdo a SAGARPA, (2012) el requerimiento máximo de riego de los cultivos (RR) o necesidades netas, se define como la evapotranspiración del cultivo menos la precipitación efectiva (Pe).

$$RR = \frac{ETP - Ppe}{10}$$

Donde;

RR= Requerimiento máximo de riego (mm/día).

ET= Evapotranspiración del cultivo en el mes con el nivel más elevado

Pe= Precipitación efectiva (mm).

El valor resultante lo dividimos entre 30 (días del mes) para conocer el valor de Requerimiento máximo por días en el mes de mayor demanda.

4.4 Determinación del sistema de riego

Se realizó el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo, para así determinar gastos, diámetros y pérdidas por fricción en el sistema.

4.4.1 Determinación de emisores

En esta etapa se seleccionó el tipo de emisor que cumpla con las necesidades de agua del cultivo.

Debido a que el sistema a implementar fue el de riego por goteo, se eligieron los emisores que se adaptan de manera correcta a las necesidades calculadas de acuerdo a las opciones comerciales en el mercado.

Fue necesario tomar en cuenta distintos goteros, de marcas comerciales, entre las cuales destacaron los de la marca NETAFIM. Los elementos fueron considerados con base en el mayor gasto de cada una de las secciones y los requerimientos hídricos del cultivo.

Precipitación horaria

De acuerdo a Pizarro (1996) la precipitación por hora de instalación, o precipitación horaria del emisor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PPH = \frac{Q}{(DEE)(DEL)}$$

Donde;

PPH= Precipitación horaria del emisor o precipitación por hora de instalación (mm/hr)

Q= Gasto del emisor (l/hr)

DEE= Distancia entre emisores (m)

DEL= Distancia entre líneas o laterales (m)

4.4.2 Determinación del caudal del módulo a regar.

De acuerdo a las dimensiones de las 4 secciones y el marco de plantación elegido para el sistema, considerando el número de plantas por sección, se calculó el caudal de cada una de las secciones.

Esta condición fue dada de acuerdo al número de goteros por sección, el cual se multiplico por el gasto del emisor.

4.4.3 Cálculo de diámetros y pérdidas de carga de las tuberías principal y secundarias

Una vez calculado el gasto de cada sección, se realizó el cálculo de los materiales para el cumplimiento de la necesidad de flujo, considerando parámetros con base en lo señalado por Mendoza (2015):

- Las velocidades máximas permitidas son de 1.8 m/s y 3.5 m/s en líneas principal y secundaria respectivamente.
- Las pérdidas por fricción o H_f dentro de un sistema de riego por goteo deben ser menores al 30 % entre el primer y último emisor. Las pérdidas por fricción entre la unidad de bombeo y la válvula de sección deben ser menores al 10 %.

El valor de la velocidad es una limitante importante para elegir el diámetro de la tubería, ya que diámetros muy grandes implican costos mayores, por el contrario, muy pequeños podrían sobre pasar las velocidades máximas permitidas y pérdidas de cargas altas representarían peligros de ruptura por sobrepresiones.

La velocidad de flujo en una tubería se calculó usando la ecuación

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

Donde;

V= Velocidad de flujo (m/s)

Q= Caudal (lps)

D= Diámetro interior (mm)

Según Vicente (2007), la fórmula de Hazen- Williams es una de las ecuaciones empíricas más utilizadas para evaluar las pérdidas por fricción en tuberías. La ecuación antes mencionada se puede expresar de dos modos, una cuando la tubería no tiene salida y otra cuando la tubería tiene salidas múltiples, esta última se expresa de la manera siguiente:

$$Hf = \left(\frac{1.21 \times 10^{13} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852}}{Q^{4.87}} \right) (L)(Fs)$$

Donde;

HF= Pérdidas de carga por fricción (mca)

Q= Caudal o gasto del módulo (lps)

C= Coeficiente de rugosidad (Tabla 8)

D= Diámetro interior de la tubería (mm) (Tabla 9)

L= Longitud de la tubería (m)

Fs: Factor de salidas de Christiansen (adimensional) = 0.36

Se realizó el cálculo de las líneas principales sin usar el factor de salidas, y el de las líneas secundarias considerándolo.

Se realizó el cálculo de las líneas principales sin usar el factor de salidas, y el de las líneas secundarias considerandolo

Tabla 8. Coeficiente de Rugosidad

Material	Coeficiente
Plástico PE	150
Plástico PVC	140
Tubos estirados de acero	240
Tubos de latón o cobre	150
Fundición revestida de cemento	240

Fuente: Valverde (2000).

El diámetro nominal de una tubería es el valor con el que comercialmente se encontrará registrada, pero el diámetro efectivo considerado, es el valor del diámetro interior de la misma como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 9. Diámetros comerciales de Tuberías de PVC

Diámetro Nominal (in)	Diámetro interior (mm)
1/2	16
3/4	21
1	27
1 1/4	35
1 1/2	41
2	55
2 1/2	62
3	84
4	108
6	154
8	202

Fuente: Elaboración propia con datos de CRESCO (2014).

4.4.4 Cálculo de diámetro y pérdidas de carga de manguera de la línea regante

Se seleccionó la manguera de las líneas regantes, sobre la cual se instalaron los goteros y distribuidores, considerando diámetros de 16, 17 y 20 mm, con base en la ecuación de velocidad, calculando las pérdidas de carga en estas líneas para cada uno de los módulos de acuerdo a la ecuación de Hazen-Willians.

4.5 Determinación de válvulas de campo

Se realizó el cálculo de las válvulas de control tanto internas como externas, obteniendo así los elementos para controlar cada una de las secciones, evitando rupturas por golpes de ariete o fuerzas de cavitación.

Todos estos basados en el caudal máximo requerido para cada módulo y con una velocidad máxima de 1.8 m/s (Mendoza, 2015).

Una vez elegidas las válvulas con base en las velocidades, se calcularon las pérdidas reales de presión utilizando el diagrama de pérdidas (Anexo 5).

Se colocaron una válvula ventosa a la entrada y salida de cada válvula reguladora de presión para evitar rupturas.

4.6 Selección de componentes de cabezal de riego.

Se hicieron los cálculos para elegir diámetros de los componentes del cabezal de riego:

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

Se consideró el mismo criterio de selección en el cuál la velocidad no debe ser mayor a 1.8 m/s.

4.6.1 Medidor de flujo

Una vez determinado el diámetro del medidor de flujo con el cálculo anterior de diámetros, basado en la gráfica correspondiente al diagrama de flujo del medidor de la marca seleccionada, en el eje X se localizó el flujo, caudal o gasto máximo simultáneo de la sección a regar en m^3/h , y se trazó una línea perpendicular a este eje, hasta encontrar la intersección con la línea diagonal que representa el diámetro. Posteriormente se trazó una línea perpendicular a la anterior para encontrar la pérdida de presión, la cual se encuentra en el eje Y (Anexo 6).

4.6.2 Válvula mariposa

Una vez determinado el diámetro de la válvula mariposa se utilizó la gráfica correspondiente para localizar las pérdidas de carga con base en el flujo (Anexo 7).

4.6.3 Filtro

El filtro debe poder filtrar el flujo máximo que se utilizará simultáneamente. El cálculo de pérdida de presión en este componente es determinado por la malla a utilizar, es común utilizar filtros de 120 mesh (Mendoza, 2015).

4.6.4 Válvula check

Las pérdidas de presión se encontraron tomando en cuenta el valor del diámetro elegido localizando el valor del flujo en el eje X y realizando la intersección en el diámetro elegido (Anexo 8).

4.7 Carga hidráulica total

Una vez realizado el cálculo de pérdidas de todos los elementos del sistema, se realizó el cálculo de la carga hidráulica total, para poder elegir el caballaje de la bomba.

Según Mendoza (2015), al tener el cálculo de la carga hidráulica total; es necesario agregar un 5 % debido a las pérdidas menores o misceláneas.

La carga hidráulica total se calculó de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$CHT = Pe + Hfp + Hfc + Hfs + Hfa + Hfl + Hfd$$

Donde;

CHT = Carga hidráulica total (m)

Pe = Presión óptima de operación del emisor (m)

Hfp = Pérdida de carga por fricción en línea principal y sub principales, incluyendo válvulas (m)

Hfc = Pérdida de carga por fricción líneas de conducción o secundarias, incluyendo válvulas (m)

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

Hfca = Pérdida de carga en cabezal (m). (Suma de todos sus componentes)

Hfl = Pérdida de carga en regantes (m)

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

4.8 Cálculo de válvula de alivio de presión

Es necesario que el tamaño de la válvula se adapte al flujo de alivio que se requiera según la presión de apertura que ha sido fijada. De acuerdo con Mendoza (2015), es necesario que la presión de apertura sea al menos un 5 % mayor a la carga dinámica total; para el uso de esta válvula fue necesario calcular el diámetro de la misma mediante la ecuación siguiente:

$$D = \frac{\sqrt{(250)(F)}}{\sqrt{P}}$$

Donde;

D= Diámetro de la válvula (mm)

F= Flujo máximo (m³/h)

P= Presión de apertura (mca) (Carga hidráulica total más factor del 5 %)

4.9 Selección de la unidad de bombeo

La bomba debe tener un desempeño eficiente, proporcionar el mayor gasto a regar por módulo o módulos y soportar la carga hidráulica total del sistema.

La unidad de bombeo se seleccionó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$HP = \frac{FCHT}{75E}$$

Donde;

HP= Caballaje de la bomba a utilizar

CHT= Carga hidráulica total

E= Eficiencia de la bomba (Para bombas centrífugas horizontales se considera una eficiencia del 75 %)

Se comprobó, en la curva real de trabajo de la bomba elegida, que la carga o presión que proporciona cubra las necesidades de la carga hidráulica total.

Se localizó en el eje X de la curva de trabajo el flujo y se trazó una línea perpendicular a este eje, hasta llegar al porcentaje elegido como eficiencia de la bomba o al valor más cercano a esta curva. A partir de ese punto, se trazó una línea perpendicular al eje Y para conocer la carga hidráulica real máxima con la que podrá trabajar la bomba elegida. De acuerdo a la zona donde se encuentre la intersección se elige el diámetro del impulsor.

4.9.1 Aspiración positiva neta disponible.

Posteriormente se realizó el cálculo de la aspiración positiva neta disponible (NPSHA), por medio de la fórmula siguiente:

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

Donde;

H₀= Presión atmosférica

H_v= Presión de saturación de vapor (mca)

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

H_f= Pérdida de carga del rotor por encima de la superficie del agua (m)

Este último parámetro se calculó de acuerdo al diámetro de la bomba haciendo el cálculo de pérdidas de presión con la fórmula de Hazen-Williams

El valor de (H₀-H_v) estará dado en función de las temperaturas y altitudes de la zona (Anexo 14).

4.9.2 Potencia eléctrica

Como cálculo final de la bomba se utilizó la ley de Ohm para conocer la potencia eléctrica, mediante la fórmula siguiente:

$$P = VI$$

Donde;

P= Potencia eléctrica (watts)

V= Voltaje (volts)

I= Intensidad de la corriente eléctrica (amperes)

4.10 Relación permeabilidad-PPH

Se comparó el valor de permeabilidad del sustrato con el valor de la PPH del emisor, tomando en cuenta que, si el valor de permeabilidad es mayor que la PPH, el sustrato no presentará problemas de encharcamiento.

El coeficiente de permeabilidad, se obtuvo mediante pruebas de laboratorio realizadas en el laboratorio de hidráulica del departamento de Ingeniería Civil de la FES Acatlán utilizando el método de permeámetro de carga constante, registrando los resultados para distintas graduaciones de tezontle (Anexo 9).

Considerado como un método directo, su principal objetivo es la determinación del coeficiente de permeabilidad para suelos de alta permeabilidad, como arenas y gravas basado en la ley de Darcy (UNNE, 2008) . Según Juárez y Rico (2005), esta prueba ofrece el método más simple para determinar el coeficiente, donde, una muestra de suelo con un área transversal (A) y longitud (L) conocidas, se somete a una carga hidráulica (H). El agua fluye a través de la muestra, midiéndole la cantidad que pasa en un tiempo (t), como se muestra en la figura siguiente.

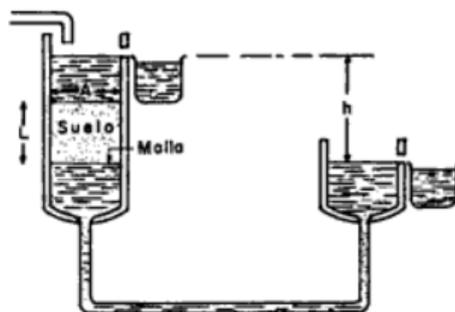


Figura 14. Esquema del permeámetro de carga constante

Aplicando la ley de Darcy:

$$V = kAt$$

El gradiente hidráulico medio vale:

$$i = \frac{h}{L}$$

Entonces

$$k = \frac{VL}{hAt}$$

Donde;

V= Cantidad de agua recogida (cm³)

L= Tamaño de la muestra (cm)

A= Área de la sección transversal (cm²)

h= carga hidráulica

t= Tiempo de la prueba (s)

k= Coeficiente de permeabilidad

El valor de permeabilidad del sustrato comparado con el valor de la PPH nos indicará si el sustrato presentará problemas de encharcamiento.

4.11 Cálculo del drenaje.

Se realizó el cálculo de desnivel de la tubería de drenaje, la cual será usada para coleccionar el agua residual del sistema de riego para reutilizarla. Esta será conducida a una máquina de desinfección de agua con luz ultravioleta para eliminar organismos existentes como hongos, bacterias y virus; el agua, conservará el porcentaje de fertilizantes que se le adicionaron y será,

incorporada nuevamente al sistema de riego evitando el desperdicio de fertilizantes.

Se consideró la cantidad de agua a adicionar a cada planta por día y el número de riegos en que se divide esa cantidad, con base en esto, se realizó el cálculo del volumen de agua por día, el cual fue igual a la resta del porcentaje de retención de humedad del sustrato y la aireación del mismo; este porcentaje sirvió para encontrar la cantidad de agua que se perderá.

Tabla 10. Influencia del tamaño de partículas en otras características físicas del sustrato

Diámetro (cm)	% Aireación	% Humedad retenida
0.5-1.0	27	43

Fuente: Elaboración propia con datos de Ordaz (2010).

Para ello se calculó el volumen efectivo a ocupar por el agua de riego con base en la altura de llenado de la bolsa y el bulbo de humedad aproximado de acuerdo al tipo de emisor obtenido con ayuda de las siguientes fórmulas:

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

Donde;

A= Área de la sección transversal (cm²)

D= Diámetro efectivo del bulbo de humedad (cm)

$$V = Ah$$

V= Volumen efectivo a ocupar por el agua de riego (cm³)

A= Área de la sección transversal (cm²)

h= altura de llenado de bolsa (cm)

Dadas las propiedades gravimétricas del tezontle, se calculó el volumen de aire y agua con relación a los sólidos. Este último número es la cantidad de agua que retiene el bulbo de humedad, y sirvió para determinar a partir de que riego se

pierde agua, dividiendo el volumen máximo de retención en el espacio definido entre la cantidad a aplicar por riego.

Los litros perdidos por día se dividieron en el número de riegos restantes, y el diámetro de cada módulo se dividió en la cantidad de secciones consideradas para obtener velocidades permisibles, y así evitar que los tubos se saturen; de esta manera, cada sección del tubo mantiene una inclinación distinta para evitar la saturación de agua, evitando su regreso hacia las canaletas.

Se calculó de acuerdo a la cantidad de agua perdida por riego:

- El volumen de agua perdido por sección de tubo en litros y cm^3
- El volumen de agua perdido por planta en litros y cm^3
- La altura de agua perdida, ayudándonos del área de la sección transversal del bulbo de humedad, en cm
- Tiempo de pérdida de agua en segundos, apoyados en el coeficiente de permeabilidad.

Teniendo los datos anteriores se calculó el área de la sección transversal del tubo de drenaje siguiendo el principio de movimiento de flujo en canales de Manning, debido a que este tubo no se encontrará totalmente lleno y se comporta como un canal y no como una tubería de acuerdo a Sotelo, (2002), con la siguiente fórmula

$$A = \frac{\pi}{8} D^2$$

Donde;

A= Área de la sección transversal en un canal (cm^2)

D= Diámetro de la sección (cm)

Una vez calculados estos datos, con el volumen a perder por riego en cm^3 y el área de la sección transversal del tubo de drenaje, se calculó la longitud del tubo que ocupa este volumen, para así dividir este dato en el tiempo de pérdida que anteriormente se calculó para obtener la velocidad de agua que se requiere para desalojar este volumen sin tener problemas de saturación en el tubo.

Al obtener las velocidades mínimas se evaluó si están dentro del parámetro de velocidad mínima permitida en líneas de conducción, que es de 0.45 m/s según Mendoza (2015). Estas velocidades ayudan en el cálculo de desnivel mediante la ecuación de Manning. Esta ecuación es netamente empírica y fue presentada por primera ocasión por el ingeniero Irlandés Robert Manning en 1889, en función del radio hidráulico (Rh), de la pendiente de la línea de energía (S) y del coeficiente de rugosidad (n), conocido mundialmente como coeficiente n de Manning (Sotelo, 2002).

$$v = \frac{1}{n} Rh^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde;

v= Velocidad del canal (m/s)

n= Coeficiente de Manning (adimensional)

Rh= Radio hidráulico (m)

S= Pendiente de la línea de energía (m/m)

El radio hidráulico es

$$Rh = \frac{1}{4} D$$

Donde;

Rh= Radio hidráulico (m)

D= Diámetro de la sección transversal del canal.

Se realizó el cálculo de la pendiente para cada una de las secciones o tramos de tubo de cada uno de los módulos, y multiplicó el valor por la longitud de cada tramo, para conocer el desnivel o pendiente total de la línea de drenaje de cada módulo.

Se consideró de acuerdo con Mendoza (2015), que es adecuado utilizar una pendiente máxima del 1 %, ya que pendientes mayores serían difíciles de manejar en campo.

4.12 Sistema de filtrado y tratamiento de agua

Se caracterizó el sistema de filtrado y tratamiento de agua, para lograr el adecuado nivel de purificación del agua.

4.13 Análisis costo-beneficio del sistema

Una vez realizados todos los cálculos necesarios para el sistema de riego, reutilización y desinfección de agua se realizó un análisis de costos del sistema, y fue comparado con la implementación de un sistema sin reciclaje de agua (sistema tradicional), tomando como referencia datos de costos de producción y cosechas de años anteriores de la empresa Terramex® y los costos de amortización de la inversión inicial.

Para realizar este análisis fue necesario apoyarse de la fórmula que a continuación se muestra:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^T B_t (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T C_t (1+r)^{-t}}$$

Donde;

B/C= Relación costo beneficio

B_t = beneficios en cada período del proyecto

C_t = costos en cada período del proyecto

r = tasa de actualización

t = tiempo en años

(1 + r)^{-t} = factor de actualización

Donde según Ginés (2008), el resultado de la ecuación marcará el siguiente criterio:

B/C > 1 indica que los beneficios superan los costes, por consiguiente, el proyecto debe ser considerado.

B/C=1 Aquí no hay ganancias, pues los beneficios son iguales a los costos.

$B/C < 1$, muestra que los costos son mayores que los beneficios, no se debe considerar.

Para obtener este indicador económico es necesario determinar la tasa de actualización, también conocida como tasa de descuento (Muñante citado en Rucoba *et al.*, 2006).

La fórmula que se utilizó para su cálculo es

$$R = \left[\left(\frac{1+r}{1+f} \right) - 1 \right] 100$$

Donde;

R = Tasa real anual

r = Tasa de interés nominal/100

f = Tasa inflacionaria anual/100

Para el análisis financiero se tomó una tasa de actualización la cual representa la tasa de interés real calculada en base a una tasa nominal (CETES) y una inflación anual (pronosticada).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Cálculo de evapotranspiración

De acuerdo a la página del Servicio Meteorológico Nacional, y basados en las coordenadas del terreno, encontramos una estación climatológica en el mismo municipio, de la cual se recabaron los datos necesarios (Anexo 1)

El clima de la zona es seco cálido con régimen de lluvias de verano, presenta mancha de temperatura tipo Ganges, es decir, que el mes más cálido esta antes del solsticio de verano y presenta canícula o sequia de medio verano en el mes de agosto.

Tabla 11. Índice de calor de Thornthwaite para el Municipio de Tasquillo Hidalgo

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	I
i	5.71	6.38	7.43	8.41	12.35	10.4	9.49	8.47	7.97	7.37	6.55	5.93	96.45

$$I = 96.45$$

Cálculo de a: exponente empírico, función de I

$$a = (0.0000000675)(I^3) - +(0.0000771)(I^2) + (0.01792)(I) + 0.49239$$

$$a = (0.0000000675)(96.45^3) - +(0.0000771)(96.45^2) + (0.01792)(96.45) + 0.49239$$

$$a = (0.0000000675)(897,236.01) - +(0.0000771)(9,302.60) + (0.01792)(96.45) + 0.49239$$

$$a = 0.605634308 - 0.717230653 + 1.728384 + 0.49239$$

$$a = 2.11$$

Cálculo de ETP para valores I= 96.45 a= 2.11

Tabla 12. Cálculo de evapotranspiración

Mes	Temperatura Media (°C)	Fc	e	ETP
Enero	15.8	0.95	45.33	43.07
Febrero	17	0.9	52.90	47.61
Marzo	18.8	1.03	65.42	67.38
Abril	20.4	1.05	77.73	81.61
Mayo	26.3	1.13	132.85	150.12
Junio	23.5	1.11	104.76	116.28
Julio	22.1	1.14	92.03	104.91
Agosto	20.5	1.11	78.53	87.17
Septiembre	19.7	1.02	72.20	73.65
Octubre	18.7	1	64.69	64.69
Noviembre	17.3	0.93	54.89	51.05
Diciembre	16.2	0.94	47.79	44.92
Total	236.3	12.31	889.12	932.46
Promedio	19.69	1.03	74.09	77.71

Fc=Factor de corrección, e=Evapotranspiración sin corregir, ETP=Evapotranspiración corregida

5.2 Fuente de abastecimiento de agua

El valor de la conductividad eléctrica del agua de riego es de 1.58 dS/m de acuerdo a los establecido por análisis de agua (Anexo 4).

5.3 Determinación de requerimientos de agua

5.3.1 Lámina neta

Lad= 12 cm = 120 mm (Tabla 4)

F = 0.5 (Tabla 5)

$$Ln = (Lad)(F)$$

$$Ln = (120 \text{ mm})(0.5)$$

$$Ln = 60 \text{ mm}$$

5.3.2 Requerimiento de lavado

CEa= 1.58 dS/m

CEm= 3 dS/m (Tabla 6)

$$RL = \frac{CEa}{CEm}$$

$$RL = \frac{1.58 \text{ dS/m}}{3 \text{ dS/m}}$$

$$RL = 0.53$$

5.3.3 Lámina bruta

Ln= 60 mm

E= 80 % o 0.8 (Tabla 7)

RL = 0.53

$$Lb = \frac{\frac{Ln}{E}}{1 - 0.53}$$

$$Lb = \frac{\frac{60 \text{ mm}}{0.8}}{0.47}$$

$$Lb = \frac{75 \text{ mm}}{0.47}$$

$$Lb = 149.57 \text{ mm/mes}$$

Para lavar las sales se deben aplicar 149.57 mm/mes.

5.3.4 Requerimiento máximo de riego

ETP= Se utilizó la máxima calculada, la cual corresponde al mes de mayo que es de 150.12 mm. (Tabla 12)

Ppe= Para este particular caso la precipitación efectiva es igual a 0 debido a que el cultivo se encuentra dentro de un invernadero.

$$RR = \frac{ETP - Ppe}{10}$$

$$RR = \frac{150.12 \text{ mm} - 0}{10}$$

$$RR = \frac{150.12 \text{ mm}}{10}$$

$$RR = 15.01 \text{ cm/mes}$$

$$RR = 150.1 \text{ mm/mes}$$

Con el valor antes calculado se encontró que el requerimiento máximo de riego podrá realizar el lavado de sales del cultivo.

Este valor se dividió entre 30 para conocer el valor de requerimiento máximo por días en el mes de mayor demanda.

$$RR = \frac{150.12 \text{ mm /mes}}{30 \text{ días}} = 5.00 \text{ mm/día}$$

5.4 Determinación del sistema de riego

5.4.1 Determinación de emisores del sistema de riego

El cultivo requiere 5.00 mm diarios etapas críticas de producción, para lo cual se seleccionó un gotero que pueda abastecer este gasto en el menor tiempo posible, para este sistema se eligió el Gotero PCJ Junior NETAFIM, el cual se monta en un distribuidor de 4 salidas, en cada una de estas se conecta un tubing o microtubo con una estaca, lo cual proporciona un riego de 2 litros por planta por hora, se eligió este gotero basado en el siguiente cálculo:

El requerimiento máximo de riego es de 5 mm, lo que es igual a un volumen de 0.005 m³, o bien 5 litros en una superficie de 1 m², y de acuerdo a la densidad de plantas, tenemos 3.4 plantas por metro cuadrado, lo cual indica que cada planta debe recibir 1.47 litros, tomando en cuenta el principio de que en el volumen total de riego se pierde el 30 % por percolación, y adicionando ese 30 %, tenemos que, debemos poner 1.91 litros por planta, lo cual estandarizaremos a 2 litros por planta como factor de seguridad.

El gotero elegido cuenta con la siguiente descripción técnica:

Gotero compacto autocompensante en línea, Salida cónica para insertar microtubo 5x3mm.

Precipitación horaria del emisor

Dentro del invernadero existe una distancia entre líneas de 1.92 m. y una distancia entre plantas de 30 cm, a doble hilera, cada gotero tiene 4 salidas de distribución, es decir, cada gotero abastece a 4 plantas.

Con estos datos se realizó el cálculo de la precipitación horaria del emisor (PPH)

Q: 8 l/hr

DEE: 0.30 m

DEL: 1.92 m

$$PPH = \frac{Q}{(DEE)(DEL)}$$
$$PPH = \frac{8 \text{ l/hr}}{(0.30 \text{ m})(1.92 \text{ m})}$$
$$PPH = \frac{8 \text{ l/hr}}{0.576 \text{ m}^2}$$
$$PPH = 13.89 \text{ mm/hr}$$

5.4.2 Determinación del caudal del módulo a regar

Se hizo el cálculo para determinar el gasto de las cuatro secciones en las cuales se dividieron los invernaderos, los resultados en l/h, lps y m³/h están representados en la Tabla 13.

Tabla 13. Cálculo de Gastos por módulo

Módulo	Ancho (m)	Largo (m)	Número de plantas	Gasto (l/h)	Gasto (lps)	Gasto (m ³ /h)
A	46.8	76.8	10800	21600	6.0	21.6
B	43.6	76.8	10440	20880	5.8	20.88
C	43.2	182.6	22320	44640	12.4	44.64
D	43.2	201.6	24480	48960	13.6	48.96

5.4.3 Cálculo de diámetros y pérdidas de carga de las tuberías principal y secundarias

Se determinaron los diferentes diámetros basados en las velocidades permisibles y se calcularon las pérdidas (H_f) para cada módulo corroborando que estos estuvieran por dentro de los parámetros ya definidos.

Línea principal

Ya que se pretende regar simultáneamente dos módulos:

- Invernadero 1: Módulos A y B
- Invernadero 2: Módulos C y D

Dado que el gasto del invernadero 1 siendo la suma de los módulos C y D es el gasto mayor representado por 26 lps es con este, con el cual se realizó el cálculo de la tubería principal. La cual comprende de la fuente de abastecimiento permanente hasta el primer grupo de válvulas.

Se eligió la tubería con un diámetro de 6" como se muestra en la Tabla 14 , ya que es la que no pasa la velocidad máxima permitida para líneas principales, siendo esta de 1.40 m/s, teniendo con esta una pérdida por fricción de 0.17 mca.

Tabla 14. Cálculo del diámetro de tubería principal

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia (m)	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
3	84	14	26	3.17	4.69
4	108	14	26	0.93	2.84
6	154	14	26	0.17	1.40
8	202	14	26	0.04	0.81

Después de la tubería principal se encuentran cuatro tuberías a las cuales se les denominó sub-principales, éstas van de las válvulas de distribución a las internas. Se realizó el cálculo para cada uno de los módulos.

Módulo A

Se seleccionó la tubería con diámetro de 3", ya que este diámetro cumple con las condiciones de velocidad adecuadas, y la pérdida de carga es baja como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Cálculo del diámetro de tubería sub-principal al módulo A

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia (m)	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
2	55	22	6.0	2.59	2.52
2 ½	68	22	6.0	0.92	1.65
3	84	22	6.0	0.33	1.08
4	108	22	6.0	0.10	0.65

Módulo B

A pesar de que el diámetro de 2 ½" cumple con el parámetro de velocidad, este valor está muy cerca de los límites, así que por seguridad y por la elevada pérdida de presión que representa, se decidió a seleccionar al diámetro inmediato donde tenemos una pérdida de 0.63 mca, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Cálculo del diámetro de tubería sub-principal al módulo B

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia (m)	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
2	55	71	5.8	4.92	2.44
2 ½	68	71	5.8	2.79	1.79
3	84	71	5.8	0.63	1.05
4	108	71	5.8	0.18	0.63

Módulo C

En el caso del módulo C se realizó el cálculo de 2 tramos de tubería sub-principal el primero va de una válvula a otra, mientras que el segundo tramo va de una de las válvulas a la entrada del módulo.

La selección del diámetro del tramo a se hizo a partir de la Tabla 17, tomando en cuenta el parámetro de velocidad máxima permitida (1.9 m/s), teniendo una pérdida de presión de 0.42 mca.

Tabla 17. Cálculo del diámetro de tubería sub-principal al módulo C (Tramo a)

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia (m)	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
2 ½	68	25	12.4	4.03	3.41
3	84	25	12.4	1.44	2.24
4	108	25	12.4	0.42	1.35
6	154	25	12.4	0.08	0.67

En el tramo b se seleccionó la tubería de 4", que cumple con los parámetros de velocidad, teniendo pérdidas de presión de 0.73 mca, como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Cálculo del diámetro de tubería sub-principal al módulo C (Tramo b)

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia (m)	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
2 ½	68	43	12.4	6.93	3.41
3	84	43	12.4	2.47	2.24
4	108	43	12.4	0.73	1.35
6	154	43	12.4	0.12	0.67

Módulo D

La selección de diámetro de la del módulo D se hizo a partir de la Tabla 19 que cumple con el valor de velocidad máxima permisible en líneas principales.

Tabla 19. Cálculo del diámetro de tubería sub-principal al módulo D

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia (m)	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
2 ½	68	28	13.6	5.35	3.74
3	84	28	13.6	1.91	2.45
4	108	28	13.6	0.56	1.48
6	154	28	13.6	0.09	0.73

En el Anexo 10 se muestra la localización de las líneas principal y sub-principales con sus respectivas válvulas de distribución.

Líneas secundarias

Las líneas secundarias tienen distintas distancias en los 4 diferentes módulos. Para determinar el diámetro a emplear se seleccionaron diferentes diámetros y se realizó el cálculo de hf y velocidad, recordando que las pérdidas deben ser multiplicadas por el factor de salidas múltiples.

Módulo A

De acuerdo a la Tabla 20, se realizó la selección del diámetro de la tubería secundaria del módulo A que tiene una pérdida de presión de 3.26 mca, cumpliendo con el parámetro de velocidad máxima permisible.

Tabla 20. Cálculo del diámetro de tubería secundaria módulo A

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Hf X fs (mca)	Velocidad (m/s)
1 ¼	35	76.8	6.0	81.94	29.50	6.24
1 ½	41	76.8	6.0	37.91	13.65	4.54
2	55	76.8	6.0	9.06	3.26	2.52
2 ½	62	76.8	6.0	5.06	1.82	1.99

Módulo B

Con base en la Tabla 21, se hizo la selección del diámetro nominal de 2" de la tubería de este módulo ya que la velocidad del flujo está por debajo de la permitida, evitando así riesgo de ruptura, teniendo una pérdida de presión de 3.06 mca

Tabla 21. Cálculo del diámetro de tubería secundaria módulo B

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Hf X fs (mca)	Velocidad (m/s)
1 ¼	35	76.8	5.8	76.95	27.70	6.03
1 ½	41	76.8	5.8	35.61	12.82	4.39
2	55	76.8	5.8	8.51	3.06	2.44
2 ½	62	76.8	5.8	4.75	1.71	1.92

Módulo C

Se seleccionó el diámetro de 4" a partir de la tabla anterior a pesar de que el diámetro de 3" cumple con el parámetro de velocidad máxima en líneas secundarias, para evitar que se pierda más del 10 % de la presión de operación y a causa de la gran cantidad de goteros a utilizar en el módulo, se consideró que la dimensión del invernadero al que pertenece este módulo es mayor, y que las pérdidas se van incrementado a razón de la disminución del diámetro de la tubería

Tabla 22. Cálculo del diámetro de tubería secundaria módulo C

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Hf X fs (mca)	Velocidad (m/s)
2 ½	62	182.6	12.4	46.12	16.60	4.11
3	84	182.6	12.4	10.51	3.78	2.24
4	108	182.6	12.4	3.09	1.11	1.35
6	154	182.6	12.4	0.55	0.20	0.67

Módulo D

La selección del diámetro de este módulo se hizo a partir de la Tabla 23 para evitar pérdidas de presión elevadas, utilizando la regla que indica que no debe haber más del 10 % de pérdidas de presión entre el primer y último gotero.

Tabla 23. Cálculo del diámetro de tubería secundaria módulo D

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia (m)	Gasto (lps)	Hf (mca)	Hf X fs (mca)	Velocidad (m/s)
2 ½	62	201.6	13.6	60.43	21.75	4.50
3	84	201.6	13.6	13.77	4.96	2.45
4	108	201.6	13.6	4.047	1.46	1.48
6	154	201.6	13.6	0.719	0.26	0.73

En el Anexo 11 podemos ver la localización de la instalación de las líneas secundarias.

5.4.4 Cálculo de diámetros y pérdidas de carga de manguera de la línea regante

El material utilizado fue Polietileno de Baja densidad.

Módulo A

Gasto 6.0 lps

No. De líneas 36

Gasto por línea 0.17 lps

Tabla 24. Cálculo del diámetro de línea regante módulo A

Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Hf X fs (mca)	Velocidad (m/s)
16	46.8	0.17	2.71	0.97	0.85
17	46.8	0.17	2.01	0.73	0.75
20	46.8	0.17	0.91	0.33	0.54

Módulo B

Gasto 5.8 lps

No. De líneas 36

Gasto por línea 0.16 lps

Tabla 25. Cálculo del diámetro de línea regante módulo B

Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Hf X fs (mca)	Velocidad (m/s)
16	43.6	0.16	2.25	0.81	0.80
17	43.6	0.16	1.68	0.60	0.70
20	43.6	0.16	0.76	0.27	0.51

Módulo C

Gasto 12.4 lps

No. De líneas 93

Gasto por línea 0.13 lps

Tabla 26. Cálculo del diámetro de línea regante módulo C

Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Hf X fs (mca)	Velocidad (m/s)
16	43.2	0.17	1.52	0.55	0.65
17	43.2	0.17	1.13	0.41	0.57
20	43.2	0.17	0.51	0.18	0.41

Módulo D

Gasto 13.6 lps

No. De líneas 102

Gasto por línea 0.13 lps

Tabla 27. Cálculo del diámetro de línea regante módulo D

Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Hf X fs (mca)	Velocidad (m/s)
16	43.2	0.17	1.52	0.55	0.65
17	43.2	0.17	1.13	0.41	0.57
20	43.2	0.17	0.51	0.18	0.41

El diámetro seleccionado para los cuatro módulos fue el de 20mm, ya que es el que reduce los costos y tiene la menor pérdida de presión.

El Anexo 12 muestra la localización de las líneas regantes.

5.5 Determinación de válvulas de campo

Se selecciono el diámetro de válvulas de campo, para cada uno de los módulos, para las válvulas de distribución (externas), e internas.

5.5.1 Cálculo de válvulas externas

Módulo A

La selección del diámetro de la válvula se hizo a partir de la Tabla 28, para evitar rupturas por sobre presiones, se consideró que a pesar de que el diámetro inmediato anterior tiene una velocidad menor a 1.8 m/s, esta es muy cercana a la máxima permisible.

Tabla 28. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo A

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
2	55	1	6.0	0.12	1.78
2 ½	68	1	6.0	0.04	1.65
3	84	1	6.0	0.03	1.08
4	108	1	6.0	0.00	0.65

Módulo B

El diámetro seleccionado fue de 3" para evitar rupturas por sobrepresiones en el sistema como se muestra en la Tabla 29.

Tabla 29. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo B

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
2	55	1	5.8	0.11	1.75
2 ½	68	1	5.8	0.04	1.60
3	84	1	5.8	0.01	1.05
4	108	1	5.8	0.00	0.63

Módulo C

El diámetro seleccionado fue de 4", como se muestra en la siguiente tabla, debido a que cumple el parámetro de velocidad; estando este valor lejano al máximo permitido.

Tabla 30. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo C

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
2 ½	68	1	12.4	0.16	3.41
3	84	1	12.4	0.05	1.76
4	108	1	12.4	0.02	1.35
6	154	1	12.4	0.00	0.67

Módulo D

De acuerdo a la Tabla 31, el diámetro seleccionado es de 4", ya que cumple con el parámetro de velocidad evitando riesgos de ruptura.

Tabla 31. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo D

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
2 ½	62	1	13.6	0.19	3.74
3	84	1	13.6	0.07	1.78
4	108	1	13.6	0.02	1.48
6	154	1	13.6	0.00	0.73

Una vez elegidos los diámetros para cada uno de los módulos se realizó el cálculo de las pérdidas de presión para cada una, como se puede ver en la Figura 15, las válvulas presentan valores de pérdida de 0 mca, siendo este un valor teórico, para el cálculo se utilizó el valor de pérdida de 10 cm o 0.10 mca, ya que en la realidad siempre existe una pérdida.

Módulo B

Se seleccionó la válvula de 2", que cumple con el parámetro de velocidad máxima permisible, ayudando a elevar la velocidad de entrada al invernadero.

Tabla 33. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo B

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
2	55	1	5.8	0.11	1.75
2 ½	68	1	5.8	0.04	1.60
3	84	1	5.8	0.01	1.05
4	108	1	5.8	0.00	0.63

Módulo C

De acuerdo a la Tabla 34, el diámetro seleccionado es de 3", la selección de se hizo a partir de la necesidad de elevar la velocidad a la entrada del invernadero, evitando pasar el límite de velocidad de 1.8 m/s

Tabla 34. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo C

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
2 ½	68	1	12.4	0.16	3.41
3	84	1	12.4	0.05	1.76
4	108	1	12.4	0.02	1.35
6	154	1	12.4	0.00	0.67

Módulo D

De acuerdo a Tabla 35, el diámetro seleccionado es de 3".

Tabla 35. Cálculo del diámetro de válvulas de campo módulo D

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
2 ½	62	1	13.6	0.19	3.74
3	84	1	13.6	0.07	1.78
4	108	1	13.6	0.02	1.48
6	154	1	13.6	0.00	0.73

Una vez elegidos los diámetros se realizó el cálculo de las pérdidas de presión. Como se observa ver en la Figura 16, las pérdidas de presión son de 0.81, 0.79, 0.90 y 1.21 mca para los módulos A, B, C, y D respectivamente

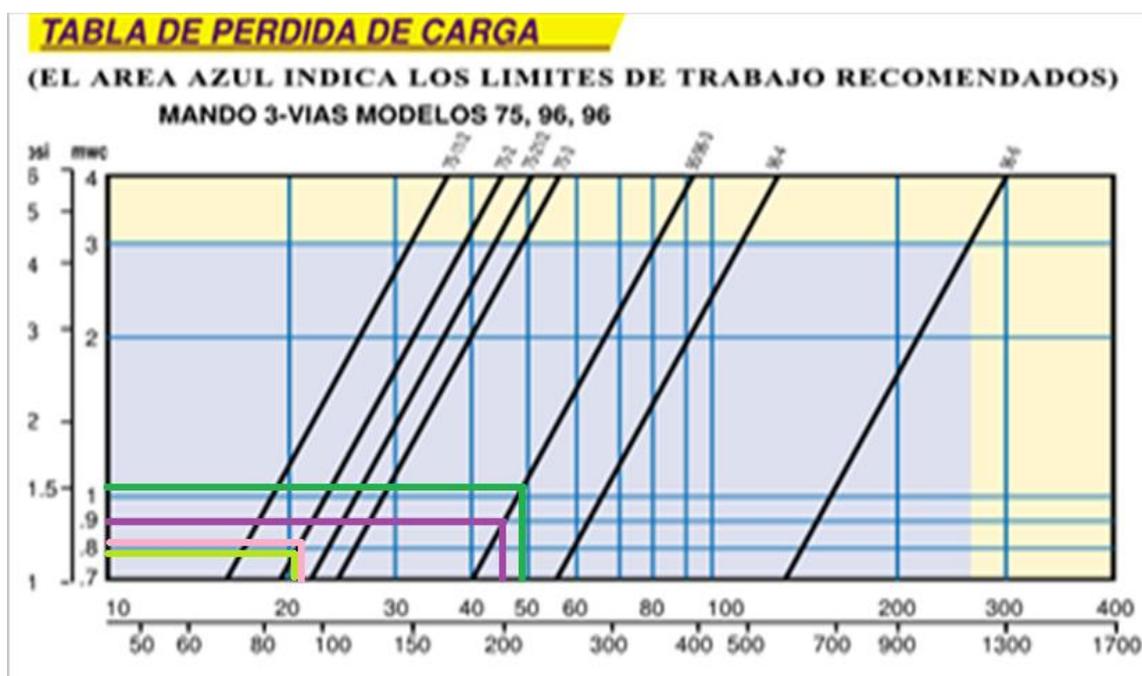


Figura 16. Diagrama de pérdida de carga en válvulas internas

Fuente: Elaboración propia con datos de El Galeón (2010)

5. 6 Selección de componentes de cabezal de riego.

Para la selección de los componentes del cabezal se consideró el flujo máximo al regar de manera simultánea dos secciones.

Tabla 36. Cálculo del diámetro de los componentes del cabezal

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)	Velocidad (m/s)
3	84	1	26	0.23	4.69
4	108	1	26	0.07	2.84
6	154	1	26	0.01	1.40
8	208	1	26	0.00	0.77

La selección de los componentes del cabezal de riego se realizó con base en la tabla anterior, en un diámetro nominal de 6", que cumple con el parámetro de velocidad permitida de 1.8 m/s.

Las pérdidas de carga se calcularon para cada uno de los componentes.

5.6.1 Medidor de flujo

El medidor de flujo seleccionado es de la marca BERMAD TURBO-IR-A

Contador para riego y aguas residuales DN50-300

Para un gasto de 93.6 m³/h, las pérdidas de presión son despreciables como se muestra en la Figura 17, por lo cual para el cálculo se utilizó el valor de 0.10 mca.

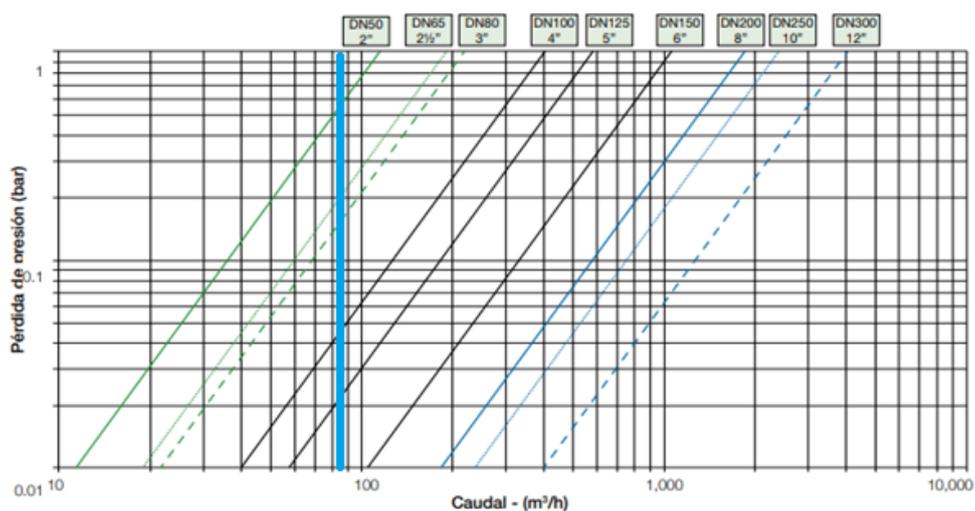


Figura 17. Diagrama de flujo del Turbo-IR-A

Fuente: Elaboración propia con datos de BERMAD Riego (2016).

5.6.2 Válvula mariposa

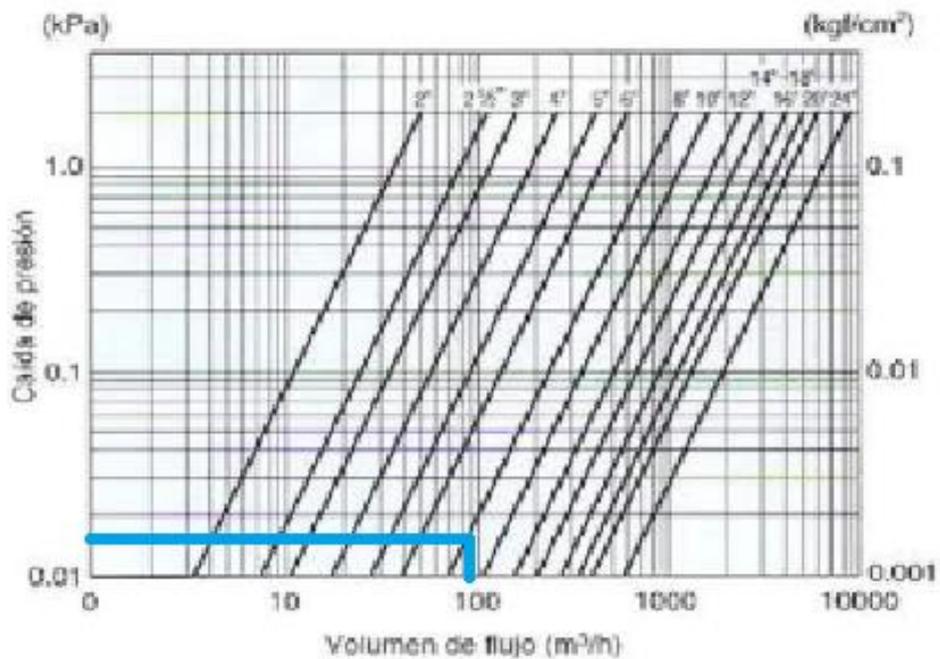


Figura 18. Pérdidas de carga en válvulas mariposa

Fuente: Elaboración propia con datos de KITZ (2006).

Como se observa en la figura anterior, la pérdida de carga es de 0.02 kPa lo que es igual a 0.002 mca. Por factor de seguridad para el cálculo se utilizó un factor de pérdida de 0.10 mca.

5.6.3 Filtro

Se eligió un filtro en batería de 4x3", basado en el caudal de 9lps (máximo que permitiría pasar un filtro de 3"), se espera el paso de un caudal máximo teórico de 129.6 m³/h con el cual se cubre el requerimiento máximo de 93,6 m³/h.

El filtro elegido es de anillas Spin Klin de la marca Arkal y su curva de trabajo se muestra en la Figura 19

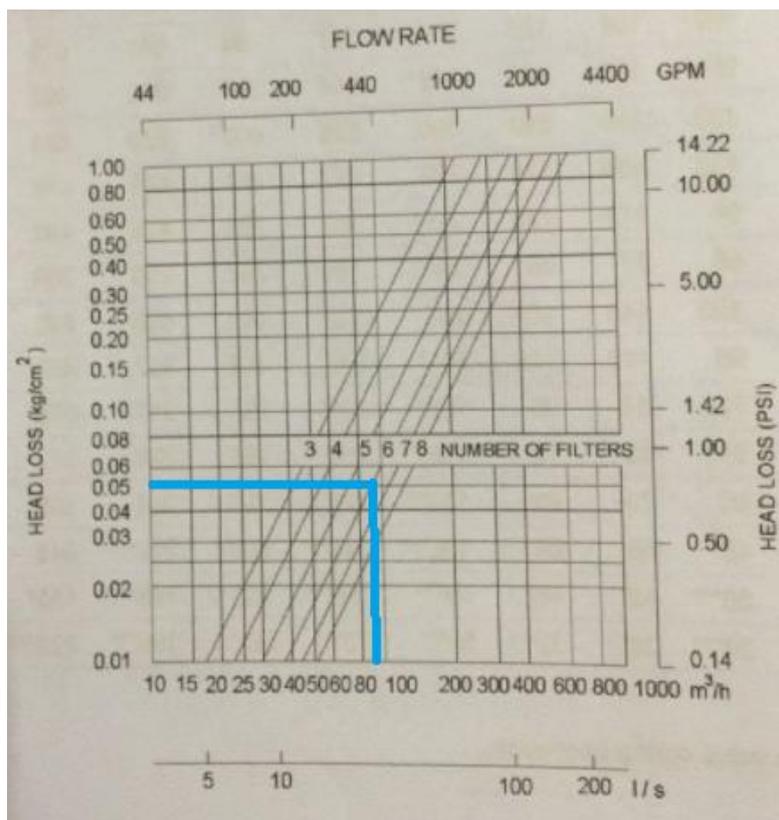


Figura 19. Curva de trabajo de filtro Spin Klin 4x3"

Fuente: Elaboración propia con datos de ARKAL (2004).

Con base en la curva de trabajo la pérdida de carga o presión es de 0.05 kg/cm², lo cual es equivalente a 0.5 mca.

Tabla 37. Características Técnicas del filtro Spin Klin 4x3"

Datos Técnicos	4 unidades
Presión máxima	10 bar
Presión Mínima	2.8 bar
Caudal máximo recomendado: 40-120 mesh	<= 85-120m ³ /h
Volumen de filtración	10560 cm ³
Largo de la batería	1200 mm
Altura de la batería	1220 mm
Ancho de la batería	900 mm
Peso (acero inoxidable)	170 kg

Fuente: Elaboración propia con datos de ARKAL (2014).

5.6.4 Válvula check

Las pérdidas de presión se encontraron localizando el valor del flujo en el eje X y realizando la intersección en el diámetro elegido.

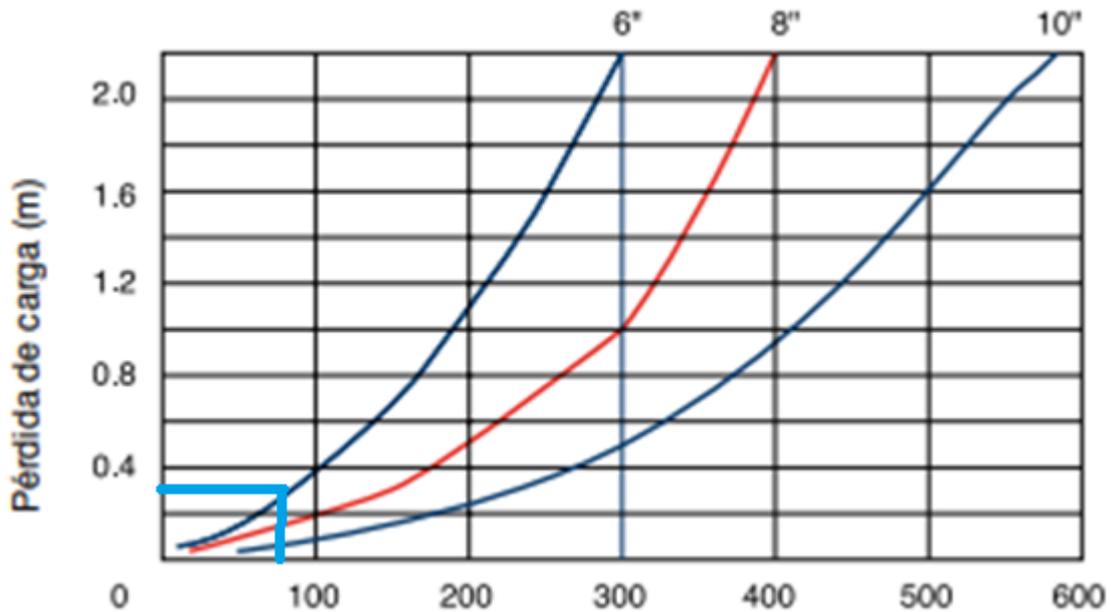


Figura 20. Pérdidas de carga en válvula check

Fuente: Elaboración propia con datos de A.R.I. (2015).

Para un valor de flujo o caudal máximo de $93.6 \text{ m}^3/\text{h}$ la pérdida de carga es de 0.3 mca , como se muestra en la Figura 20 se observa que es una pérdida muy baja lo cual beneficia al diseño de nuestro sistema.

5.7 Carga hidráulica total

La siguiente tabla condensa las pérdidas de carga en el sistema de cada uno de los elementos

Tabla 38. Pérdidas de carga en el sistema

Elemento	Diámetro (in)	Diámetro interior (mm)	Gasto (lps)	Distancia (m)	Hf (m)	Velocidad
Succión	3	84	26	3	0.68	4.70
Tubería principal	6	154	26	14	0.17	1.40
Válvula distribución A	3	84	6	-	0.10	1.08
Válvula distribución B	3	84	5.8	-	0.10	1.05
Válvula distribución C	4	108	12.4	-	0.10	1.35
Válvula distribución D	4	108	13.6	-	0.10	1.48
Tubería sub-principal A	3	84	6	22	0.33	1.08
Tubería sub-principal B	3	84	5.8	61	0.63	10.5
Tubería sub-principal C	4	108	12.4	25	0.42	1.35
Tubería sub-principal C	4	108	12.4	43	0.73	1.35
Tubería sub-principal D	4	108	13.6	28	0.56	1.48
Tubería secundaria A	2	55	6	76.8	3.26	2.52
Tubería secundaria B	2	55	5.8	76.8	3.06	2.44
Tubería secundaria C	4	108	12.4	182.6	1.11	1.35
Tubería secundaria D	4	108	13.6	201.6	1.46	1.48
Válvula A	2	55	5.8	-	0.81	1.08
Regante A	-	20	0.17	46.8	0.33	0.54
Válvula B	2	55	6	-	0.79	1.05
Regante B	-	20	0.16	43.6	0.27	0.51

Continuación Tabla 38. Pérdidas de carga en el sistema

Elemento	Diámetro (in)	Diámetro interior (mm)	Gasto (lps)	Distancia (m)	Hf (m)	Velocidad
Válvula C	3	84	12.4	-	0.90	1.35
Regante C	-	20	0.17	43.2	0.18	0.41
Válvula D	3	84	13.6	-	1.21	1.48
Regante D	-	20	0.17	43.2	0.18	0.41
Medidor de flujo	6	154	26	-	0.10	1.48
Válvula Check	6	154	26	-	0.30	1.48
Válvula mariposa	6	154	26	-	0.10	1.48
Filtro	6	154	26	-	0.50	1.48

$$CHT = Pe + Hfp + Hfc + Hfs + Hfa + Hfl + Hfd$$

Pe = 10 metros (Presión óptima de operación)

Hfp = 2.92 mca.

Hfc = 8.97 mca.

Hfs = 2 m (Altura de la succión)

Hfca = 1.0 mca.

Hfl = 0.96 mca.

Hfd = 2 m

$$CHT = 10 + 3.24 + 12.6 + 2 + 1.0 + 0.96 + 2 [mca]$$

$$CHT = 30.48 mca$$

La carga hidráulica total es de 30.48 mca, esta carga un valor bruto, al cual se aplica el factor de corrección por pérdidas misceláneas, obteniendo así una pérdida real de 32.00 mca.

5.8 Cálculo de válvula de alivio de presión

$$F = 93.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$P = 32.00 \text{ mca} + 5 \% = 33.60 \text{ mca.}$$

$$D = \frac{\sqrt{(250)(F)}}{\sqrt{P}}$$

$$D = \frac{\sqrt{(250)(93.6 \text{ m}^3/\text{h})}}{\sqrt{33.60 \text{ mca}}}$$

$$D = \frac{\sqrt{23400}}{\sqrt{33.60}}$$

$$D = \frac{152.97}{5.80}$$

$$D = 26.37 \text{ mm}$$

El diámetro de la válvula deberá ser de 26.37 mm, de manera comercial no existen válvulas de ese diámetro, ni menores a 2", por lo cual se seleccionó la válvula de alivio de presión de 2".

5.9 Selección de la unidad de bombeo

$$F = 26 \text{ lps}$$

$$\text{CHT} = 32.00 \text{ mca}$$

$$HP = \frac{F \text{CHT}}{75E}$$

$$HP = \frac{(26 \text{ lps})(32.00 \text{ mca})}{75(0.75)}$$

$$HP = \frac{832}{56.25}$$

$$HP = 14.79$$

Según el cálculo, se seleccionó una bomba de 14.79 hp. Comercialmente este caballaje no existe, por lo cual se seleccionó el valor inmediato siguiente el cual

es de 15 Hp. La bomba elegida es una electrobomba centrífuga de mediana presión Marca BARMESA de la serie IB 2½.

Como podemos observar en la Figura 21, la eficiencia real del equipo es de 73.74 % aproximadamente, y la presión o carga real que ejerce es de 37 metros, la cual cubre la necesidad de la CHT (34.00 mca). El diámetro del impulsor se seleccionó de 6 5/16”.

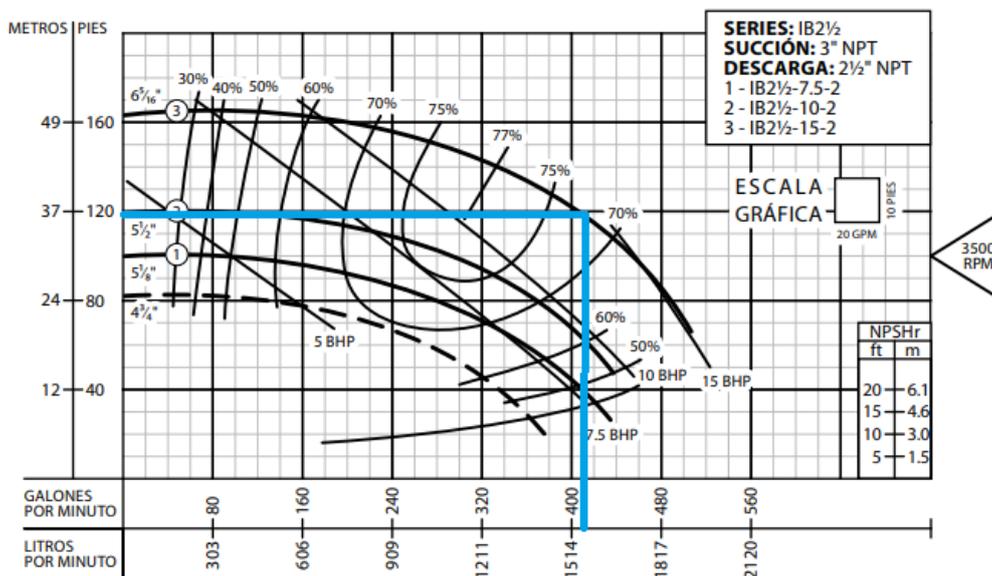


Figura 21. Curva de trabajo real de Bomba IB 2 1/2 Barmesa

Fuente: Elaboración propia con datos de BARMESA (2017).

5.9.1 Aspiración positiva neta disponible

$(H_0 - H_v) = 8.2$ (Valor tomado del Anexo 14) Se considera una altura del 1500 msnm y temperatura del agua a 20° C, ya que es la temperatura con la que se realizan las pruebas en bombas según BARMESA (2017).

$H_s = 3$ m

H_f . Calculado con el diámetro de succión

Tabla 39. Pérdida de presión en tubería de aspiración

Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (mm)	Distancia	Gasto (lps)	Hf (mca)
3	84	3	26	0.68

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

$$NPSHA = (8.2 \text{ m}) - 3 \text{ m} - 0.68$$

$$NPSHA = 4.52 \text{ m}$$

5.9.2 Potencia eléctrica

El motor de la bomba funciona con una corriente de 460 volts y una intensidad de corriente eléctrica de 17 amperes

$$P = VI$$

$$P = (460 \text{ V})(17 \text{ A})$$

$$P = 7820 \text{ watts}$$

5.10 Relación permeabilidad-PPH

De acuerdo a las pruebas de permeámetro registradas en el Anexo 9 y tomando en cuenta que el tezontle es cribado para utilizar diámetros de 0.5-1 cm el coeficiente de permeabilidad es de 2.8 cm/h, es decir, 28 mm/h, y la precipitación horaria del emisor es de 13.89 mm/h, podemos asegurar que no tendremos problemas de encharcamiento debido a que el valor de permeabilidad es mayor al de PPH.

5.11 Calculo del drenaje

Considerando que cada planta recibirá 2 litros por día:

Tabla 40. Cálculo de pérdidas de agua por día

Módulo	No. De plantas	Gasto total del módulo (l/h)	Volumen de agua perdido por día
A	10800	21600	6480
B	10440	20880	6264
C	22320	44640	13392
D	24480	48960	14688

Se convino dar 20 riegos de 100 ml cada uno, el bulbo de humedad fue de un diámetro aproximado de 10 cm con base en el tipo de emisor, con este valor se realizó el cálculo de a partir de que riego empieza el drenaje.

Área de la sección transversal de acuerdo al bulbo de humedad

$$A = \pi \frac{(10 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = \pi \frac{(100 \text{ cm}^2)}{4}$$

$$A = \frac{314.16 \text{ cm}^2}{4}$$

$$A = 78.54 \text{ cm}^2$$

Tomando en cuenta que la maceta se llena hasta una altura aproxima de 26 cm, dejando alrededor de 4 cm para evitar desbordamiento del sustrato, se calculó el volumen efectivo.

$$V = Ah$$

$$V = (78.54 \text{ cm}^2)(26 \text{ cm})$$

$$V = 2042.04 \text{ cm}^3$$

Volumen de aire contenido= 551.35 cm³

Volumen de agua contenida con relación a los sólidos=640.99 cm³

Este último número es el valor de agua que retendrá un bulbo de humedad de 10 cm de diámetro de tezontle, al poner un volumen de 100 ml por riego, se calculó que a partir del riego 7 empezará el drenaje.

Los litros perdidos por día se dividieron en 13 riegos, y el diámetro de cada módulo se dividió en 2 tramos o secciones para dar 2 inclinaciones distintas, y así evitar que los tubos se saturen, de esta manera la primera sección del tubo tendrá una inclinación mayor a la segunda, al evitar la saturación, se evita que el agua se regrese por las canaletas. Cada módulo de acuerdo al coeficiente de permeabilidad de 2.8cm/hr tendrá las siguientes pérdidas:

Tabla 41. Cálculo de volúmenes perdidos por tiempo

Módulo	v1	v2	v3	v4	v5	H	T
A	498.5	249.25	249250	0.04	40	0.51	655.7
B	481.8	240.9	240900	0.04	40	0.51	655.7
C	1030.2	515.1	515100	0.04	40	0.51	655.7
D	1129.8	564.9	564900	0.04	40	0.51	655.7

v1= Volumen de agua perdido por riego (l), v2= volumen de agua perdido por sección de tramo (l), v3= volumen de agua perdido por sección de tubo (cm³) v4= Volumen de agua perdido por planta (m³), v5= Volumen de agua perdido por planta (cm³) h= Altura de agua perdida por planta (cm) T= tiempo de pérdida (min)

Para un tubo de drenaje de 3"

$$A = \frac{\pi}{8} D^2$$

$$A = \frac{\pi}{8} (8.4 \text{ cm})^2$$

$$A = \frac{\pi}{8} 70.56 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{221.67 \text{ cm}^2}{8}$$

$$A = 27.71 \text{ cm}^2$$

Tabla 42. Cálculo de velocidades necesarias

Módulo	Volumen (cm ³)	Área sección transversal	L	v1	V2
A	249250	27.71	8994.95	13.72	0.14
B	240900	27.71	8693.61	13.25	0.13
C	515100	27.71	18588.96	28.34	0.28
D	564900	27.71	20386.14	31.09	0.31

L= Longitud a utilizar por el volumen de agua desalojado, v1= Velocidad mínima permitida para desalojar el volumen (cm/s), v2= Velocidad mínima permitida para desalojar el volumen (m/s)

Las velocidades son muy bajas y están fuera del parámetro de velocidades mínimas permitidas dentro de una tubería, por lo cual usó para el tramo 1 una velocidad de 0.5 m/s y el tramo 2, 0.7 m/s.

De la fórmula de Manning

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Despejando S:

$$S = \left(\frac{v n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

Donde el radio hidráulico es

$$Rh = \frac{1}{4} D$$

$$Rh = \frac{1}{4} (0.084m)$$

$$Rh = 0.021 m$$

Módulo A

Tabla 43. Cálculo de desnivel Módulo A

Tramo	Velocidad (m/s)	Desnivel (m/m)	Longitud (m)	Desnivel total (m)
1	0.5	0.005	38.4	0.2
2	1	0.01	38.4	0.4
			Total	0.6

Módulo B

Tabla 44. Cálculo de desnivel Módulo B

Tramo	Velocidad (m/s)	Desnivel (m/m)	Longitud (m)	Desnivel total (m)
1	0.5	0.005	38.4	0.2
2	1	0.01	38.4	0.4
			Total	0.6

Módulo C

Tabla 45. Cálculo de desnivel Módulo C

Tramo	Velocidad (m/s)	Desnivel (m/m)	Longitud (m)	Desnivel total (m)
1	0.5	0.005	91.3	0.5
2	1	0.01	91.3	0.9
			Total	1.4

Módulo D

Tabla 46. Cálculo de desnivel Módulo D

Tramo	Velocidad (m/s)	Desnivel (m/m)	Longitud (m)	Desnivel total (m)
1	0.5	0.005	100.8	0.5
2	1	0.01	100.8	1.0
			Total	1.5

5.12 Sistema de filtrado y tratamiento de agua

Una vez que el agua sale del sistema, se utilizan filtros de gravedad, el primero de rejillas, y el segundo de arena y grava, para lograr que el agua pase con una velocidad muy lenta para eliminar impurezas de mayor tamaño como sedimentos, rocas, trozos de madera, y de más elementos extraños que por alguna razón se mezclarán en alguna parte del proceso, el agua pasa hacia un depósito de 512 m³, que contiene una unidad de bombeo, resistente a los agroquímicos y con un gasto de 12-15 m³/h para elevar el agua al siguiente paso.

Pasa a un filtro de arena, el cual se seleccionó del doble de tamaño a lo requerido, es decir, de 48". Aunque para la cantidad de agua que va pasar es suficiente un filtro de 24", es necesario que pase con la menor velocidad para que la mayor parte de los elementos contaminantes (arcillas y limos) que aún prevalecen se queden suspendidos.

Con ayuda de una bomba, pasa al Vialux el cual se encarga de desinfectar, el agua deberá tener un nivel de turbidez de 0.6-0.8 NTU de lo contrario el agua regresará al proceso de filtrado.

Al salir de este proceso el agua pasa a un depósito de 512 m³, donde se mantiene almacenada hasta ser mezclada nuevamente con agua limpia para reingresar al sistema de riego todo este proceso es mostrado en la Figura 22.

El sistema de fertirrigación selecciona un porcentaje de agua limpia y un porcentaje de agua tratada de acuerdo a la conductividad eléctrica de ambas para realizar la mezcla y añadir los fertilizantes correspondientes a la nutrición requerida por el cultivo.

La reutilización del agua de drenaje tiene la ventaja de contener nutrientes, pero trae con ello, el riesgo de infección a través del sistema de recirculación. Las enfermedades transmitidas por el agua pueden afectar el cultivo. Si el agua de desagüe contaminada (sin desinfección) se recircula, la infección puede diseminarse por todo el sitio.

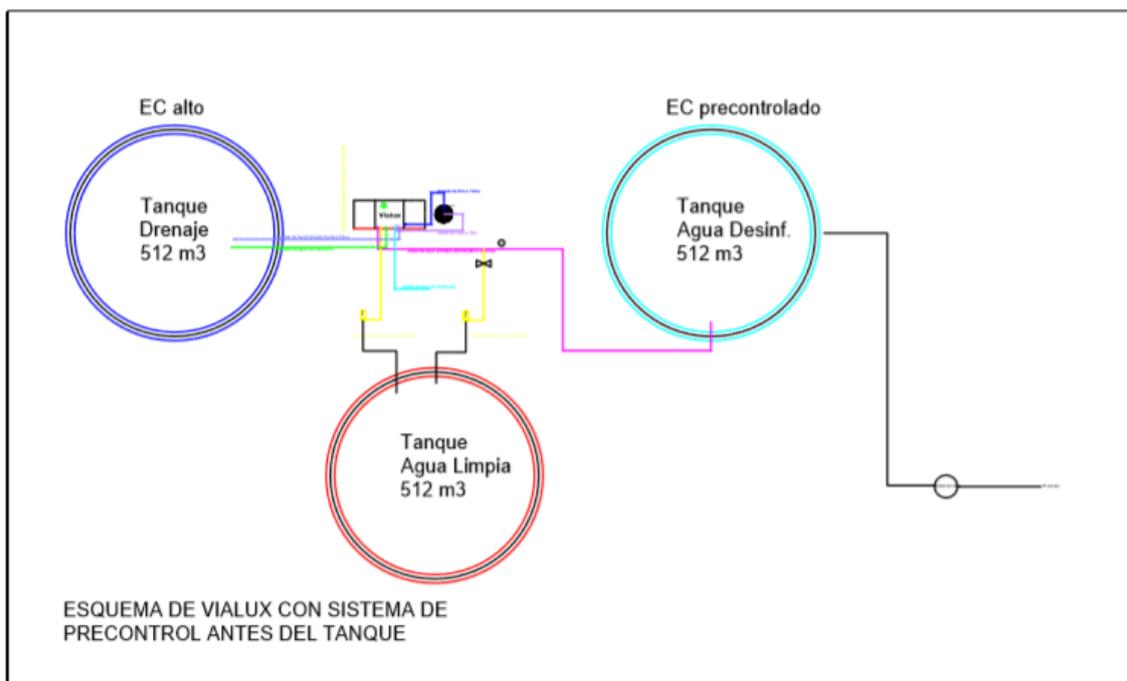


Figura 22. Diagrama del sistema de filtrado

5.13 Análisis costo-beneficio del sistema

De acuerdo a la empresa Terramex® y a la empresa Ingeniería en Fertiriego® los costos de producción por hectárea del sistema tradicional (ST) y con reciclaje (SR) y el costo de inversión por las 23540 m² son los siguientes:

Tabla 47. Costos de producción de ambos sistemas

Concepto	Costos ST	Costo SR
Costos variables		
Material vegetativo	\$179,653.00	\$179,653.00
Sustrato de cultivo	156,000.00	156,000.00
Fertilizantes	327,890.00	229,523.00
Energía eléctrica	102,434.00	102,434.00
Insumos químicos y Biológicos	153,886.00	153,886.00
Agua	7195.00	7195.00
Mano de Obra	643,000.00	643,000.00
Fletes	346,678.00	346,678.00
Otros gastos y reparaciones	50,000.00	50,000.00
Costos Fijos		
Administración	72,350.00	72,350.00
Asesorías	23,547.00	23,547.00
Total	\$2,062,633.00	\$1,964,266.00

Fuente: Elaboración propia con datos de Agroindustrias Terramex®, 2018

Tabla 48. Costo de inversión de sistema de riego

Concepto	Costos ST	Costo SR
Sistema de riego	\$1,581,954.32	\$1,581,954.32
Sistema vialux	0.00	1,655,170.00
Total	\$1,581,954.32	\$3,237,124.32

Fuente: Elaboración propia con datos de Ingeniería en Fertiriego®, 2018.

Se proyectaron ingresos y egresos de 20 años basado en una tasa de inflación del 5.43 % anual (BANXICO, 2016), con base en un rendimiento promedio de 200 toneladas por hectárea y un precio de venta de \$17.00 por kg, a esto se le sumó la amortización de la inversión del sistema de riego considerando una vida útil de 10 años y un incremento del 10 % en ese lapso de tiempo según la experiencia comercial de Mendoza (2015).

Tabla 49. Amortización de la inversión

Concepto	Costos ST	Costo SR
Amortización anual (Primer periodo de 10 años)	\$158,195.43	\$323,712.43
Inversión año 11 (Cambio del sistema de riego)	1,740,149.75	1,740,149.75
Amortización anual (Segundo periodo de 10 años)	174,014.97	174,014.97

Tabla 50. Egresos e Ingresos totales para ambos sistemas

Año	Egresos ST	Egresos SR	Ingresos
1	\$3,802,782.75	\$5,525,102.75	\$3,400,000.00
2	2,330,973.03	2,392,870.23	3,581,560.00
3	2,446,999.36	2,503,363.26	3,772,815.30
4	2,569,221.49	2,619,756.62	3,974,283.64
5	2,697,970.28	2,742,365.38	4,186,510.39
6	2,833,594.25	2,871,521.44	4,410,070.04
7	2,976,460.55	3,007,574.44	4,645,567.78
8	3,126,955.91	3,150,892.68	4,893,641.10
9	3,285,487.72	3,301,864.10	5,154,961.54
10	3,452,485.13	3,460,897.40	5,430,236.48
11	5,384,369.49	5,218,875.37	5,720,211.11
12	3,829,528.67	3,655,197.17	6,025,670.38
13	4,024,733.10	3,841,092.30	6,347,441.18
14	4,230,361.45	4,036,914.23	6,686,394.54
15	4,446,970.35	4,243,193.05	7,043,448.01
16	4,675,146.17	4,460,487.16	7,419,568.13
17	4,915,506.58	4,689,384.77	7,815,773.07
18	5,168,702.23	4,930,505.52	8,233,135.36
19	5,435,418.53	5,184,502.12	8,672,784.78
20	5,716,377.48	5,452,062.13	9,135,911.49

La tasa de interés real calculada basada en la tasa nominal de acuerdo a los CETES para el año 2017, fue de 7.33% y la inflación pronosticada de 5.34% de acuerdo a (BANXICO, 2016)

$$R = \left[\left(\frac{1 + 0.0733}{1 + 0.0534} \right) - 1 \right] 100$$

$$R = [(1.0188) - 1]100$$

$$R = 1.9\%$$

Se realizaron los cálculos de costos y beneficios actualizados para cada sistema

Tabla 51. Cálculo de relación Costo-Beneficio ST

Año	Costos Totales	Beneficios brutos	Factor de actualización (1.9%)	Costos totales actualizados	Beneficios totales actualizados
1	3,802,782.75	3,400,000.00	0.98	3,730,529.88	3,335,400.00
2	2,330,973.03	3,581,560.00	0.96	2,244,727.03	3,449,042.28
3	2,446,999.36	3,772,815.30	0.95	2,312,414.39	3,565,310.46
4	2,569,221.49	3,974,283.64	0.93	2,381,668.32	3,684,160.94
5	2,697,970.28	4,186,510.39	0.91	2,455,152.95	3,809,724.45
6	2,833,594.25	4,410,070.04	0.89	2,530,399.67	3,938,192.55
7	2,976,460.55	4,645,567.78	0.88	2,610,355.90	4,074,162.95
8	3,126,955.91	4,893,641.10	0.86	2,689,182.08	4,208,531.35
9	3,285,487.72	5,154,961.54	0.85	2,776,237.12	4,355,942.50
10	3,452,485.13	5,430,236.48	0.83	2,858,657.68	4,496,235.81
11	5,384,369.49	5,720,211.11	0.81	4,361,339.28	4,633,371.00
12	3,829,528.67	6,025,670.38	0.80	3,063,622.94	4,820,536.31
13	4,024,733.10	6,347,441.18	0.78	3,139,291.82	4,951,004.12
14	4,230,361.45	6,686,394.54	0.76	3,215,074.70	5,081,659.85
15	4,446,970.35	7,043,448.01	0.75	3,335,227.76	5,282,586.01
16	4,675,146.17	7,419,568.13	0.74	3,459,608.17	5,490,480.42
17	4,915,506.58	7,815,773.07	0.72	3,539,164.73	5,627,356.61
18	5,168,702.23	8,233,135.36	0.70	3,618,091.56	5,763,194.75
19	5,435,418.53	8,672,784.78	0.69	3,750,438.78	5,984,221.50
20	5,716,377.48	9,135,911.49	0.67	3,829,972.91	6,121,060.70
Total				61,901,157.68	92,672,174.55

Tabla 52. Cálculo de relación Costo-Beneficio SR

Año	Costos Totales	Beneficios brutos	Factor de actualización (1.9%)	Costos totales actualizados	Beneficios totales actualizados
1	5,525,102.75	3,400,000.00	0.98	5,420,125.80	3,335,400.00
2	2,392,870.23	3,581,560.00	0.96	2,304,334.04	3,449,042.28
3	2,503,363.26	3,772,815.30	0.95	2,365,678.28	3,565,310.46
4	2,619,756.62	3,974,283.64	0.93	2,428,514.38	3,684,160.94
5	2,742,365.38	4,186,510.39	0.91	2,495,552.49	3,809,724.45
6	2,871,521.44	4,410,070.04	0.89	2,564,268.65	3,938,192.55
7	3,007,574.44	4,645,567.78	0.88	2,637,642.79	4,074,162.95
8	3,150,892.68	4,893,641.10	0.86	2,709,767.70	4,208,531.35
9	3,301,864.10	5,154,961.54	0.85	2,790,075.16	4,355,942.50
10	3,460,897.40	5,430,236.48	0.83	2,865,623.05	4,496,235.81
11	5,218,875.37	5,720,211.11	0.81	4,227,289.05	4,633,371.00
12	3,655,197.17	6,025,670.38	0.80	2,924,157.74	4,820,536.31
13	3,841,092.30	6,347,441.18	0.78	2,996,051.99	4,951,004.12
14	4,036,914.23	6,686,394.54	0.76	3,068,054.81	5,081,659.85
15	4,243,193.05	7,043,448.01	0.75	3,182,394.79	5,282,586.01
16	4,460,487.16	7,419,568.13	0.74	3,300,760.50	5,490,480.42
17	4,689,384.77	7,815,773.07	0.72	3,376,357.04	5,627,356.61
18	4,930,505.52	8,233,135.36	0.70	3,451,353.86	5,763,194.75
19	5,184,502.12	8,672,784.78	0.69	3,577,306.46	5,984,221.50
20	5,452,062.13	9,135,911.49	0.67	3,652,881.63	6,121,060.70
Total				62,338,190.20	92,672,174.55

Una vez obtenidos los datos de beneficios y costos para el periodo comprendido en 20 años se aplicó la fórmula de costo beneficio para cada uno de los sistemas

Sistema tradicional

$$\frac{B}{C} = \frac{92,672,174.55}{61,901,157.68}$$

$$\frac{B}{C} = 1.49$$

Sistema con reciclaje

$$\frac{B}{C} = \frac{92,672,174.55}{62,338,190.20}$$

$$\frac{B}{C} = 1.49$$

Pese a que el sistema con reciclaje de agua requiere una inversión inicial 51% mayor que el tradicional, ambos sistemas mantienen la misma rentabilidad de 1.49, de acuerdo a Ginés (2008), los beneficios superan los costos, ya que el indicador B/C es mayor a 1, esto indica que por cada peso invertido se obtendrá una ganancia de \$0.49.

5.14 Consideraciones ambientales

Dada la aceptable rentabilidad de la implementación del sistema de riego con reciclaje de agua, se puede considerar como una implementación viable en futuros proyectos, tomando en cuenta la importancia del concepto de contaminación de agua por no reutilizar las aguas residuales procedentes del sistema

Las aguas residuales generadas, de acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), artículo 19 fracción III, se encuentran en la clasificación de residuos de manejo especial, pues son los generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de los insumos utilizados en esas actividades.

Los residuos de manejo especial derivados de actividades agropecuarias quedan sujetos a la regulación federal o local para evitar la contaminación de agua con base en el artículo 120 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).

La mayoría de los productores envían directamente las aguas residuales al suelo, lagunas o pasos de agua que tengan en las cercanías de los cultivos, este tipo de actividades se contraponen con LGEEPA Capítulo III Artículos 121, 122 y 123 que dictan que las aguas residuales que contengan cualquier tipo de contaminante no podrán descargarse o infiltrarse en cualquier cuerpo o corriente de agua (redes colectoras, ríos, acuíferos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos) o en el suelo, subsuelo o su infiltración en terrenos, ni en sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población, sin previo

tratamiento el cual corresponderá a quien genere dichas descargas y deberá reunir las condiciones necesarias para prevenir contaminación de los cuerpos receptores, quedando restringido al permiso o autorización de la autoridad federal o local.

Es difícil o prácticamente nulo que alguno de los productores realice un tratamiento previo al agua residual del sistema de fertirrigación, por lo cual se transgrede estas leyes con ese tipo de acciones.

Estas aguas están contaminadas con diferentes productos, los cuales contienen trazas de distintos materiales como nitratos, que se convierten con facilidad en nitritos y amonio o amoniaco puro.

La Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (citado en FAO, 1997) establece que el agua subterránea es una reserva importante de agua potable, al derramar estas aguas residuales en el suelo se corre el riesgo de filtración de las mismas al subsuelo y mantos freáticos, contaminando las aguas subterráneas, con esto se pone en riesgo el cumplimiento del Artículo 4 Constitucional Párrafo VI el cual dice que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. Artículo del cual se derivan la LGEEPA y la LGPGIR.

VI. CONCLUSIONES

El sistema de riego diseñado permite un mejor aprovechamiento del recurso hídrico, gracias al reciclaje de agua, debido a que el agua perdida por percolación, la cual contiene fertilizantes del primer ciclo de riego, se capta y reutiliza de manera eficiente, esto basado en que se ha logrado disminuir costos de fertilización entre 27 y 35% según datos de la empresa Terramex®, manteniendo el promedio de producción.

La lámina de riego calculada cumple de manera satisfactoria las necesidades de agua del cultivo y el lavado de sales del mismo.

Para calcular los parámetros que satisfagan las necesidades hídricas del cultivo, fue necesario el conocimiento de los elementos climáticos dados por los valores de latitud y longitud de la zona de estudio, así como el comportamiento físico y mecánico del sustrato elegido para el cultivo.

El diseño realizado en este proyecto cubre de manera satisfactoria los requerimientos hídricos del cultivo para lo cual fue necesario realizar una correcta selección del emisor, y de todos los materiales, ya que esto influye totalmente en el cálculo de la carga hidráulica, en el caso de este proyecto, se tiene una carga elevada la cual implica un sistema de bombeo con un alto caballaje que aumenta de manera considerable los costos del sistema.

La selección de diámetros en tubería es un factor que lleva el proyecto por dos vertientes, por un lado, el uso de materiales muy justos (diámetros que den como resultados velocidades altas, muy cerca de valores de velocidades máximas permitidas) y, por otro lado, valores muy holgados, la primera opción implica el poder tener riesgos de ruptura por cavitación o golpe de ariete, el segundo implica costos más altos. En este proyecto se decidió seleccionar valores holgados, debido a que sobre presiones podrían indicar gastos mayores ya sea por provocar algún fallo en el sistema de bombeo, o por una ruptura, que implicaría hacer reparaciones y posiblemente el pago de algún tipo de asesoría especializada para compostura de cualquier desperfecto.

Al calcular la relación costo-beneficio del proyecto, se analizó que ambos sistemas implican ganancias iguales en una proyección a 20 años. Considerando

esto, y la reducción del impacto ambiental que la implementación del sistema con reciclaje implica, podemos concluir la viabilidad del mismo.

El cambio de uso de suelo hacia un giro agrícola intensivo, es considerado como un cambio de impacto fuerte, y a esto se suma lo discutido en el capítulo anterior, es decir, las consecuencias de enviar contaminantes hacia los distintos causes de agua.

Este tipo de consideraciones están estipuladas en las leyes mexicanas, pero no son empleadas por los productores, ni vigiladas por las autoridades correspondientes. Es este punto donde se debe considerar el cambio de pensamiento y actuar de manera propia para seguir el cumplimiento de las leyes pensando a futuro y en la necesidad tanto de ahorrar como de optimizar el uso de este líquido vital para bien de la humanidad. La contaminación de aguas subterráneas o mantos freáticos implica que en futuro corramos el riesgo de tener que utilizar agua contaminada para consumo humano.

REFERENCIAS

A.R.I. (2015) Válvula de retención tipo waffer. Disponible en: <file:///C:/Users/iagua/Downloads/NR010.AGR.CAT.SP02.pdf> (Consultado: el 13 de febrero de 2018).

Aceves Navarro, E. (2008) "Uso y Manejo del agua en la agricultura mexicana", Comercio Exterior, 38(7), pp. 570–577. Disponible en: <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/188/2/RCE2.pdf>.

Agridor (2015) Vialux M-Line. Disponible en: <http://www.international.com/es/products/priv-a-vialux-m-line> (Consultado: el 13 de febrero de 2018).

Almorox, J. (2010) Métodos de estimación de las evapotranspiraciones ETP y ETr. Disponible en: idrissi.uaemex.mx/files/29/Sesion-7.../61/metodosevapotranspiraciones.pdf (Consultado: el 28 de enero de 2018).

ARKAL (2004) A clear view of tomorrow.

ARKAL (2014) Catálogo de productos Filtration Systems. Disponible en: http://www.riegosistemas.cl/mineria/fichas/catalogo_comercial_arkal_1.pdf (Consultado: el 18 de febrero de 2018).

Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes (2008) La importancia de los fertilizantes en una agricultura actual, productiva y sostenible. Disponible en: http://www.anffe.com/noticias/2008/2008-06-02_La_importancia_de_los_fertilizantes_en_una_agricultura_actual_productiva_y_sostenible/LA_IMPORTANCIA_DE_LOS_FERTILIZANTES.pdf (Consultado: el 25 de enero de 2018).

BANXICO (2016) Indicadores económicos 2016-2017. Disponible en: <http://www.banxico.org.mx/portal-inflacion/index.html> (Consultado: el 14 de febrero de 2017).

BARMESA (2017) Electrobomba centrífuga de mediana presión. Disponible en: http://www.barnes.com.mx/productos/pdfs/ficha-tecnica_ib_mx.pdf (Consultado: el 20 de febrero de 2018).

Bastida, A. (1999) "El medio de cultivo de las plantas. Sustratos para hidroponía y producción de plantas ornamentales.", Serie de publicaciones AGRIBOT. Universidad Autónoma de Chapingo., 4, p. 72.

Batal, K. M. y Smittle, D. A. (1981) "Response of bell pepper to irrigation, nitrogen and plant population.", american society for horticultural science, 106, pp. 159–162.

BERMAD Riego (2016) TURBO-IR-A Contador para riego y aguas residuales DN50-300; 2"-12". Disponible en: <http://www.bermad.com/wp-content/uploads/2016/06/turbo-ir-a-sp-v7.pdf> (Consultado: el 12 de febrero de 2018).

Blair, E. (1979) Riego por goteo. San José, Costa Rica: IICA.

Boswell, M. (1990) Manual de diseño y manejo de sistemas de micro-irrigación. Iberia, España: James Hardie Irrigation.

Cartagena Causapé, C. (2010) Importancia de la fertilización en el desarrollo de los cultivos y en su composición nutritiva. Disponible en: http://www.agriculturasostenible.org/v_portal/inc/imprimir.asp?cod=7187&idage=9282&te=33&t=1&tep=0 (Consultado: el 5 de enero de 2018).

Casas Flores, R. (2014) Preparación del terreno para instalación de infraestructuras y plantación de frutales UF0010. España: Paraninfo.

Castro, C. M. (2009) Diseño de Sistemas de Riego: Fundamentos: Apuntes de Riegos I. Disponible en: <https://elknol.wordpress.com/article/diseño-de-sistemas-de-riego-fundamentos-1i29ptfum49sf-5/> (Consultado: el 1 de febrero de 2018).

César Valdez, E. y Vázquez González, A. (2003) Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Ciudad de México, México: Fundación ICA.

CIMMYT (2013) INFILTRACIÓN. Guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo. Disponible en: conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc_download/1141- (Consultado: el 3 de febrero de 2018).

COFUPRO (2010) "Riego por aspersión y localizado", p. 69. Disponible en: http://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/indice/publicaciones-nayarit/FOLLETOS_Y_MANUALES/FOLLETOS_IMTA_2009/folleto_3_RiegoAspersion.pdf.

CRESCO (2014) Catálogo de Tuberías. Disponible en: http://www.tuvimsa.com.mx/wp-content/uploads/2014/10/CAT_TUB_CRESCO.pdf (Consultado: el 10 de enero de 2018).

Depestre, T. (2002) Construcción de multi-resistencia a enfermedades virales y adaptación al trópico en genotipos de pimiento (*Capsicum annuum* L.) y su aplicación. La Habana, Cuba: Liliana.

Depestre, T., Espinosa, J., Camino, V. y González, R. (1997) Pimiento y berenjena. La Habana, Cuba: Liliana.

El Galeón (2010) Válvulas.

Facultad de Ciencias Agropecuarias de Argentina (2010) Sistemas de Riego. Disponible en: http://www.fca.proed.unc.edu.ar/pluginfile.php/18458/mod_resource/content/1/3-Sistemas-de-riego.pdf (Consultado: el 13 de diciembre de 2017).

FAO (1997) Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Roma, Italia: FAO.

FAO (2002a) Agua y Cultivos. Disponible en: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/005/y3918S/Y3918S00.pdf> (Consultado: el 25 de noviembre de 2017).

FAO (2002b) El agua y la Agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm> (Consultado: el 11 de enero de 2018).

FAO (2002c) El cultivo protegido en clima mediterráneo. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/005/s8630S/s8630S00.pdf>.

FAO (2007) Informe estadístico. Disponible en: <http://www.faostat.fao.org/> (Consultado: el 13 de diciembre de 2017).

FAO (2010) Perspectivas para el medio ambiente. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s11.htm> (Consultado: el 9 de marzo de 2018).

FAO (2014) 2050: un tercio más de bocas que alimentar. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/35675/icode/> (Consultado: el 9 de marzo de 2018).

Feuchter Astiazarán, F. . (2000) Tolerancia relativa de las hortalizas a la salinidad. Disponible en: <http://www.zoetecnocampo.com/> (Consultado: el 2 de enero de 2018).

García, A. (2015) “Manejo de Suelos con acumulación de sales”, en VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Ecuador. Disponible en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/2-Manejo-de-suelos-con-acumulacion-de-sales-Garcia-A.pdf>.

García Casillas, I. y Briones Sánchez, G. (2007) Sistemas de riego por aspersión y goteo. 2a ed. Ciudad de México, México: TRILLAS.

Gerhart, P., Gross, R. y Hochtein, J. (1995) Fundamentos de Mecánica de Fluidos. 2a ed. EUA: Addison-Wesley Iberoamericana.

Ginés, D. R. (2008) Análisis Coste-Beneficio: Evaluación económica de Políticas y proyectos de Inversión. Madrid, España: Ariel.

Glosario de riego (2017) Hidrología. Disponible en: <https://www.riego.org/glosario/lamina/> (Consultado: el 3 de febrero de 2017).

González Amador, R. (2008) “Por las nubes, el costo de fertilizantes; agricultores pequeños no podrán sembrar”, La Jornada, 22 mayo. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2008/05/22/index.php?section=economia&article=023n1eco>.

González Molina, P. (2015) Jardinería. Manual Teórico. Madrid, España: CEP.

Hydro Environment (2018) Cintas de riego. Disponible en: http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=index&cPath=6_187 (Consultado: el 10 de enero de 2018).

Infoagro (2006) Clasificación de emisores. Disponible en: [http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/189/9.Clasificación de emisores..pdf?sequence=1](http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/189/9.Clasificación%20de%20emisores.pdf?sequence=1) (Consultado: el 20 de diciembre de 2017).

Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A. (2005) Mecánica de Suelos 1: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ciudad de México, México|: Limusa.

KITZ (2006) Válvulas mariposa. Disponible en: http://www.kitzeurope.com/home_cas.php (Consultado: el 23 de diciembre de 2017).

Leitón Soubannier, J. S. (1985) Riego y drenaje. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia. Disponible en: [https://books.google.com.mx/books?id=_yuPFwKJ6yWC&pg=PA43&dq=relacion+suelo+agua+planta&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjsrNOBybzXAhVhwVQKHdA_APgQ6AEIJTAA#v=onepage&q=relacion suelo agua planta&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=_yuPFwKJ6yWC&pg=PA43&dq=relacion+suelo+agua+planta&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjsrNOBybzXAhVhwVQKHdA_APgQ6AEIJTAA#v=onepage&q=relacion%20suelo%20agua%20planta&f=false).

León, F. M. (2011) Requerimientos hídricos de las principales hortalizas. Disponible en: <http://www.aguayriego.com/2011/08/english-water-requirements-of-major-vegetables/> (Consultado: el 29 de enero de 2018).

Liotta, M. (1999) Curso De Manejo De Riego Presurizado y de Estaciones Agrometeorológicas. San Juan, Argentina.

Liotta, M. (2000) Superficie cultivada con riego tradicional y presurizado en la provincia de San Juan. San Juan, Argentina: INTA San Juan.

Liotta, M. (2015) Riego por goteo. INTA. Disponible en: file:///C:/Users/SURI/OneDrive/Documentos/inta_manual_riego_por_goteo.pdf.

López, J. R. (1997) Riego localizado. Madrid, España: MUNDI-PRENSA.

Loriente Escallada, F. (1964) Enciclopedia Salvat de la Ciencia y la Tecnología. Barcelona, España: Salvat.

Martínez Guzmán, M. A. (2013) Tecnologías para el uso sostenible del agua: Una contribución a la seguridad alimentaria y a la adaptación al cambio climático. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/Tecnologias_para_el_uso_sostenible_del_agua.pdf (Consultado: el 20 de enero de 2018).

Martínez Romero, E., López Guerrero, M. G., Ormeño Orrillo, E. y Moles, C. (2013) Manual Teórico-Práctico de Biofertilizantes y su uso en la Agricultura. Editado por SAGARPA-COFUPRO-UNAM. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/257227036/Manual-Teorico-practico-Biofertilizantes>.

Méndez, M. V. (2007) Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua. Caracas, Venezuela: Fondo Polar-UCAB.

Mendoza Rivera, G. y Banda González, C. I. (1998) Diseño de un sistema de riego por microaspersión para el “Vivero Forestal Mesa de Gallo” en Valle de Bravo Estado de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Disponible en: <file:///C:/Users/iagua/OneDrive/Documentos/TESIS/268132.pdf>.

Ministerio de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente España (2015) Sistemas de Filtrado. Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/filtrado.aspx> (Consultado: el 10 de diciembre de 2017).

Mora, L. (1999) “Sustratos para cultivos sin suelo o hidroponía”, en XI Congreso Nacional Agronómico. San José, Costa Rica: INDAGRO, pp. 95–100. Disponible en: http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_095.pdf.

Mosqueira Pérez Salazar, S. (2014) Introducción a la química y el ambiente. 3a ed. Ciudad de México, México: Patria.

Mundarain, S., Coa, M. y Cañizares, A. (2005) “Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de aji dulce (*Capsicum frutescens* L.)”, UDO Agrícola, 5(1), pp. 62–67.

NETAFIM (2005) Fertirrigación avanzada para invernaderos. Disponible en: <https://www.netafim.com/filehandler.ashx?fileid=64038> (Consultado: el 3 de enero de 2018).

Oblaré Torres, J. L. (2011) UF0008: Instalaciones, su acondicionamiento, limpieza y desinfección. Antequera, España: IC.

Ordaz Chaparro, V. (2010) Caracterización física del sustrato. Disponible en: <http://www.cm.colpos.mx/montecillo/images/SUSTRATOS/02.pdf> (Consultado: el 22 de enero de 2018).

Osorio, A., Sellés van Sch, G., Martínez, A., Ortega, J. F., De Juan, J. A., Medina, D., Tarjuelo, J. M., García, C., Casanova, S. y Carlesso, R. (2010) “Asesoramiento a regantes en Chile”, en 2a Reunión Internacional de Riego. Córdoba, Argentina: INTA, pp. 3–6.

Osorio Ulloa, A. (1994) Curso de Diseño, Evaluación y Manejo de Sistemas de Riego por goteo. INTA-INIA.

Oviedo, A. y Liotta, M. (2003) Sistemas Olivícolas Familiares del centro-oeste del Valle del Tulúm. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_hoja_informativa_riego_por_goteo_olivo_-_julio_.pdf (Consultado: el 7 de diciembre de 2017).

Pachano Amaya, L. A. y Pérez R., F. (2007) Válvulas de control. Universidad Nacional Experimental del Tachira. Disponible en: http://www.unet.edu.ve/~nduran/Teoria_Instrucontrol/Valvulas_de_control.pdf.

Palomino Velasquez, K. (2009) Riego por goteo. Ciudad de México, México: Starbook Editorial.

Pérez Hernández, E. (2014) "Salinidad en el suelo", en Jornadas de Interpretación de análisis de agua y suelos. Cabildo de TENERIFE. Disponible en: http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/subt_541_Ponencia_3.pdf (Consultado: el 4 de enero de 2018).

Pizarro, F. (1990) Riegos localizados de alta frecuencia. 2a ed. MUNDI-PRENSA.

Pizarro, F. (1996) Riegos localizados de alta frecuencia. 3a ed. MUNDI-PRENSA.

Restrepo, I., Sánchez, L. D., Gálvez, A., Rojas, J. y Sanabria, I. J. (2007) Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento. Cali. Colombia: Universidad del Valle.

Roldan, J. C. (1995) Manuel de riego por goteo. México.

Rucoba García, A., Anchondo Nájera, Á., Lujan Álvarez, C. y Olivas García, J. M. (2006) "Análisis de rentabilidad de un sistema de producción de tomate bajo invernadero en la región centro-Sur de Chihuahua", Revista Mexicana de Agronegocios, 10(19), p. 20. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/141/14101909.pdf>.

SAGARPA (2012) Estimación de las demandas de consumo de agua. Disponible en:

http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS_TECNICAS_E_INSTRUCTIVOS_NAVA/INSTRUCTIVO_DEMANDAS_DE_AGUA.pdf (Consultado: el 1 de enero de 2018).

SAGARPA (2014) Carta Tecnológica del Cultivo de Pimiento. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/Documents/Agricultura_F/PIMIENTO.pdf (Consultado: el 10 de marzo de 2018).

SAGARPA (2015) Uso consuntivo del agua de riego en el cultivo de caña de azúcar. Disponible en:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114361/3.-_Nota_Agosto_2015.pdf (Consultado: el 3 de febrero de 2018).

SAGARPA (2016) 4o. Informe de labores 2015-2016. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/Transparencia/POT_2016/Informe/CuartoInformeDeLabores_SAGARPA.pdf (Consultado: el 6 de marzo de 2018).

Servicio Meteorológico Nacional (2011) Información climatológica por estado. Disponible en: <http://200.4.8.20/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=hgo> (Consultado: el 15 de enero de 2017).

SIAP (2017) Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en:

http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp (Consultado: el 11 de marzo de 2018).

Sotelo Ávila, G. (2002) Hidráulica de Canales. Ciudad de México, México: UNAM.

Tarjuelo Martín-Benito, J. M. (1999) El riego por aspersión y su tecnología. 3a ed. Madrid, España: MUNDI-PRENSA.

TORO (2012) Válvulas De Aire / Vacío. Disponible en: https://media.toro.com/CatalogDocuments/ProductLiterature/ALT035_AirReleaseValve_Sp_WEB.pdf (Consultado: el 1 de enero de 2017).

Universidad de Buenos Aires (2017) Balance hídrico. Disponible en: <http://www.filo.uba.ar/contenidos/carreras/geografia/catedras/climatologia/sitio/bcehidrico.pdf> (Consultado: el 20 de enero de 2018).

UNNE (2008) Trabajo práctico de laboratorio. Permeabilidad. Disponible en: <http://ing.unne.edu.ar/pub/Geotecnia/2k8-04-10/l5-p.pdf> (Consultado: el 20 de febrero de 2018).

USDA (1954) Laboratorio de Salinidad.

Valverde, J. C. (2000) Riego y drenaje. 2a ed. UNED.

Wright, H. B. y Cairns, W. L. (2012) Luz Ultravioleta. Disponible en: http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/LUZ_ULTRAVIOLETA.pdf (Consultado: el 12 de marzo de 2018).

Zuñiga Martínez, E. (2004) Diseño y evaluación del riego a presión. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

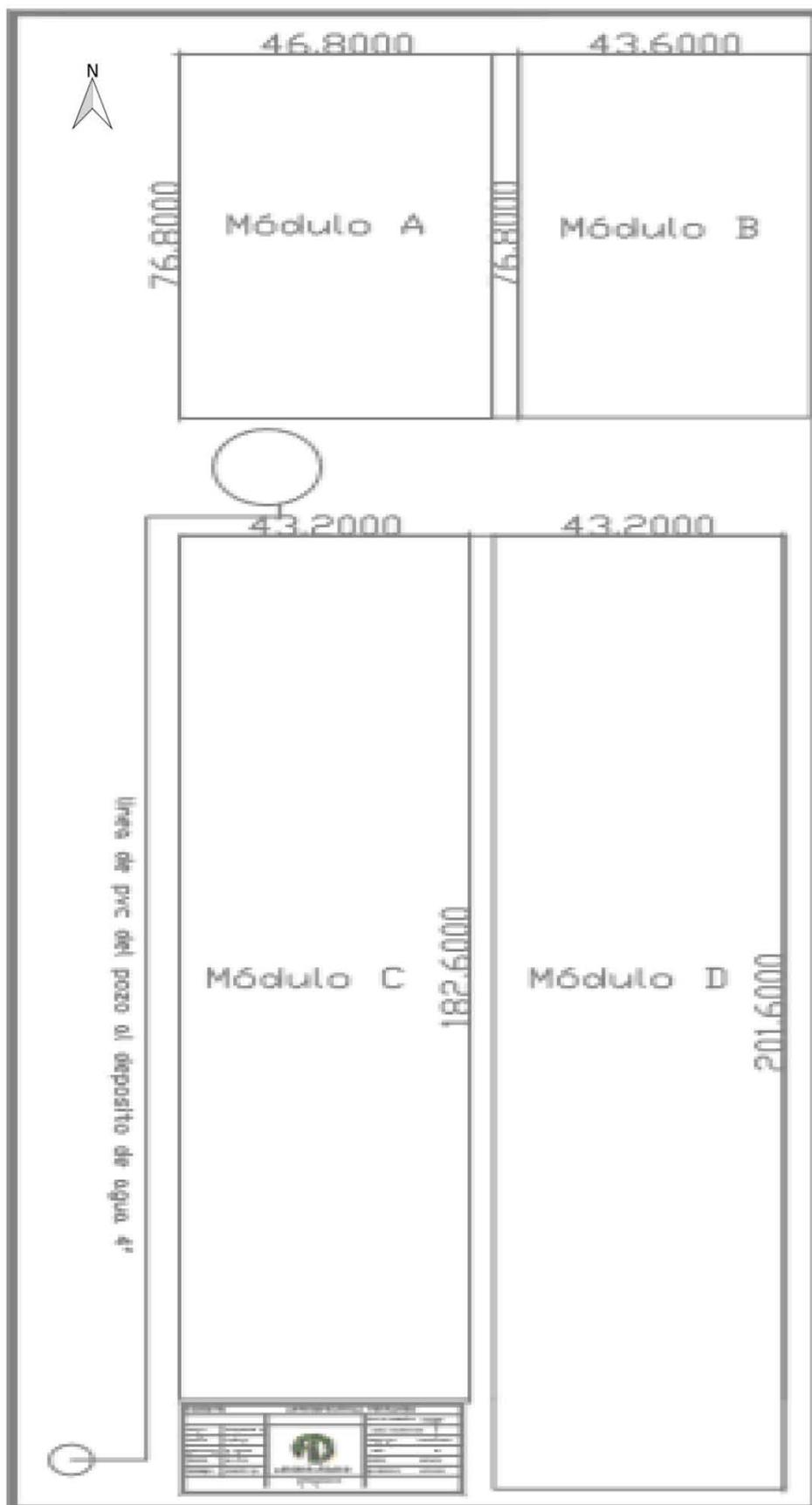
ANEXOS

Anexo 1. Normales climatológicas del Municipio de Tasquillo, Hidalgo

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL					
NORMALES CLIMATOLÓGICAS					
Estado: Hidalgo		Periodo: 1981-2010		Estación: 00013088 Tasquillo	
Latitud: 20°33'22" N		Longitud: 099°18'13" W		Altura: 1654.0 msnm	
	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)	E (mm)
Enero	25.3	15.8	6.3	8.5	165.8
Febrero	26.6	17	7.4	10.6	168.7
Marzo	28.3	18.8	9.4	6.7	226.4
Abril	29.8	20.4	11	19.5	239.9
Mayo	36.1	26.3	16.5	36.6	253.4
Junio	32.8	23.5	14.2	55.4	240.7
Julio	31.6	22.1	12.6	60.5	232.8
Agosto	28.7	20.5	12.3	40	236.3
Septiembre	27.5	19.7	11.8	53.3	208
Octubre	27	18.7	10.5	30.4	196.1
Noviembre	26.3	17.3	8.2	9.9	172.5
Diciembre	25.5	16.2	6.9	2.7	165.1
Media	27.89	19.69	10.59		
Total				334.10	2505.70

Fuente: Elaboración propia con datos del Servicio Meteorológico Nacional (2011).

Anexo 2. Plano de dimensiones de los invernaderos y localización de los módulos



Anexo 3. Valor L del método de Thornthwaite, Coeficientes para la corrección de la ETP debida a la duración media de la luz solar

LAT N	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
15	0.97	0.92	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
25	0.93	0.89	1.03	1.05	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	0.90	0.90
28	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	0.98	0.90	0.90
29	0.92	0.97	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	0.98	0.90	0.89
30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
31	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.21	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	0.89	0.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	0.97	0.88	0.86

Fuente: Roldan (1995). LAT N= Latitud

Anexo 4. Análisis de laboratorio de agua del pozo de la empresa Agroindustrias Terramex®.

INFORMACION GENERAL										
No. Registro	: AG- 4518			Municipio:	Tasquillo		Cultivo (s) :			
Fecha de Recepción:	02/02/2016			Estado	: Hidalgo		Profundidad (mts):	0.00		
Fecha de Entrega	: 05/02/2016			Tipo de Agua	: Pozo		Latitud	0.00	Temp. Agua:	Longitud 0.00
Rancho	: Hermanos Arteaga Trejo S.C. de R.L. de C.V Propietario Hermanos Arteaga Trejo S.C. de R.L. de C.V.			Lote	: 1			0.00	°c	
				Cliente	:					
pH	7.52		Ligeramente Alcalino	CE	1.58 dS/m		RASaj	4.56		Clasif.: Alto en Sodicidad en Salinidad Moderado
CATIONES					ANIONES					
Extremadamente Alto					Extremadamente Alto					
Muy Alto					Muy Alto					
Alto					Alto					
Mod. Alto					Mod. Alto					
Mediano					Mediano					
Mod. Bajo					Mod. Bajo					
Bajo					Bajo					
Muy Bajo					Muy Bajo					
Extremadamente Bajo					Extremadamente Bajo					
Cación	Ca	Mg	Na	K	Anión	CO3	HCO3	Cl	SO4	
Unidades: meq/l	4.86	2.33	8.04	0.61	Unidades: meq/l	0.06	0.71	3.46	11.61	
Unidades: ppm	97.33	28.31	184.97	24.01	Unidades: ppm	1.80	43.38	122.80	557.48	
CARACTERISTICAS DE SALINIDAD / SODICIDAD					DETERMINACIONES					
Extremadamente Alto										
Muy Alto										
Alto										
Mod. Alto										
Mediano										
Mod. Bajo										
Bajo										
Muy Bajo										
Extremadamente Bajo										

Catión	CE	SE	PSP	C.S.R.	RAS	RASaj			B	Fe	Mn	N-NO3
Unidades:	dS/m	meq/l	%	meq/l					ppm	ppm	ppm	ppm
Resultados:	1.58	10.98	73.22	0.01	4.24	4.56	0.00	0.00	0.23	0.00	0.01	4.55

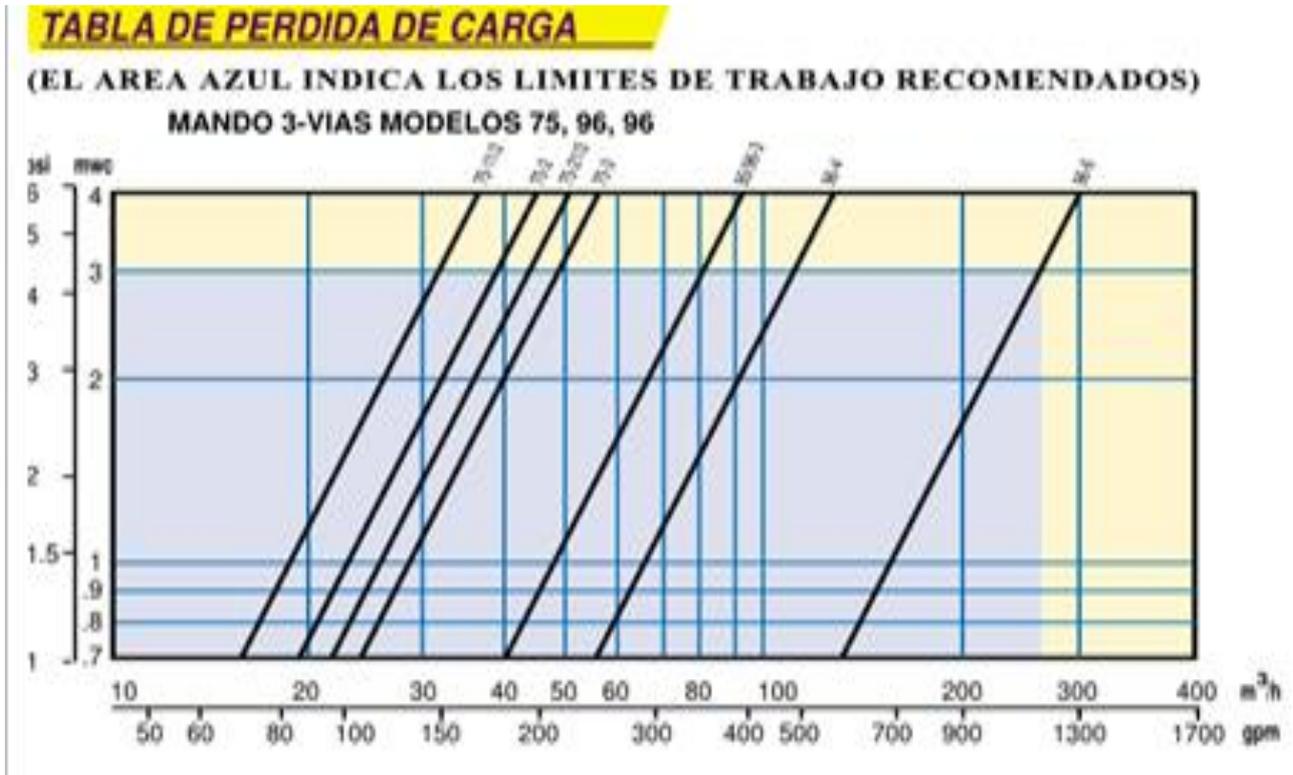
COMENTARIOS	ATENTAMENTE
-------------	-------------

* Agua C S1
 * Salinidad efectiva
 (S.E.):&XOWLYRVWROHUDEOHVDODVVDOHV
 * Carbonato de Sodio Residual (C. S. R.) Apropriada

DR. AURELIO BÁEZ PÉREZ.

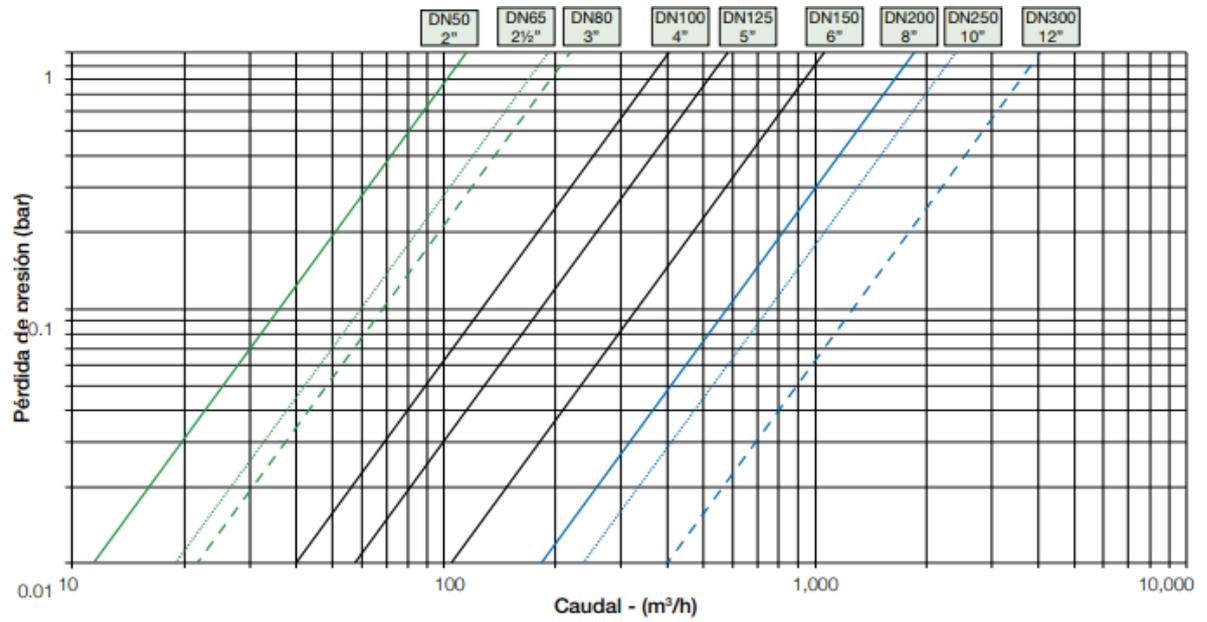
ENCARGADO(A) DE LABORATORIO

Anexo 5. Diagrama de pérdidas de carga en válvulas hidráulicas de campo



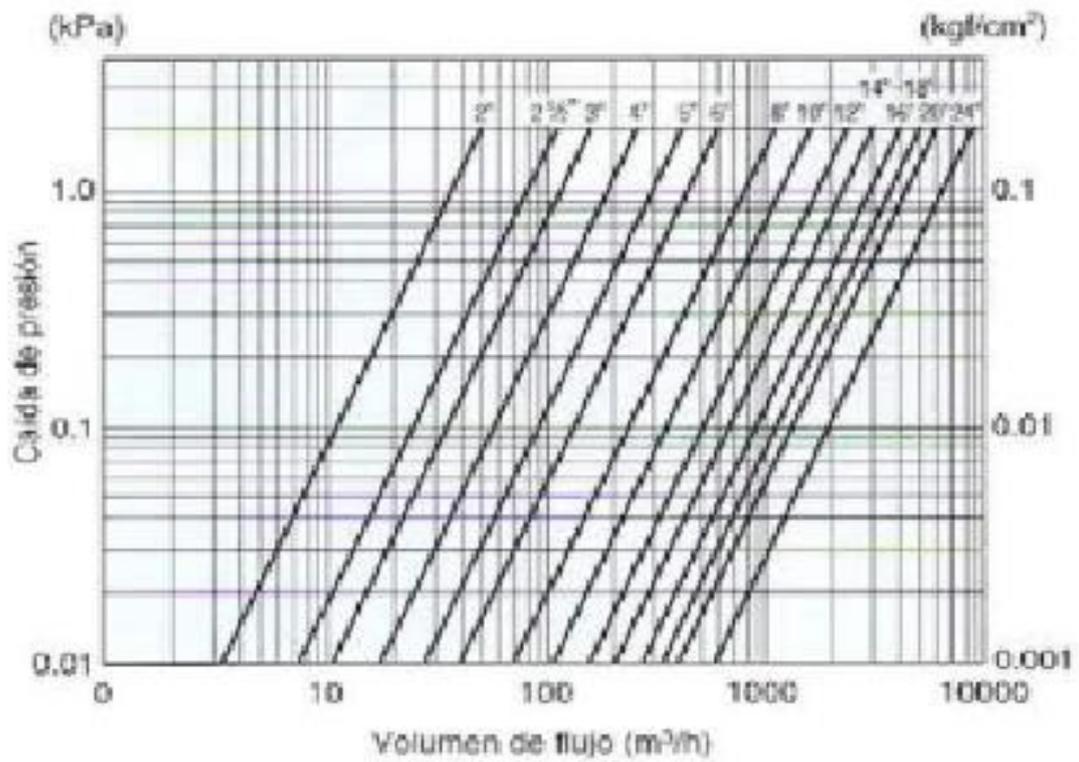
Fuente: El Galeón (2010)

Anexo 6. Diagrama del medidor de flujo



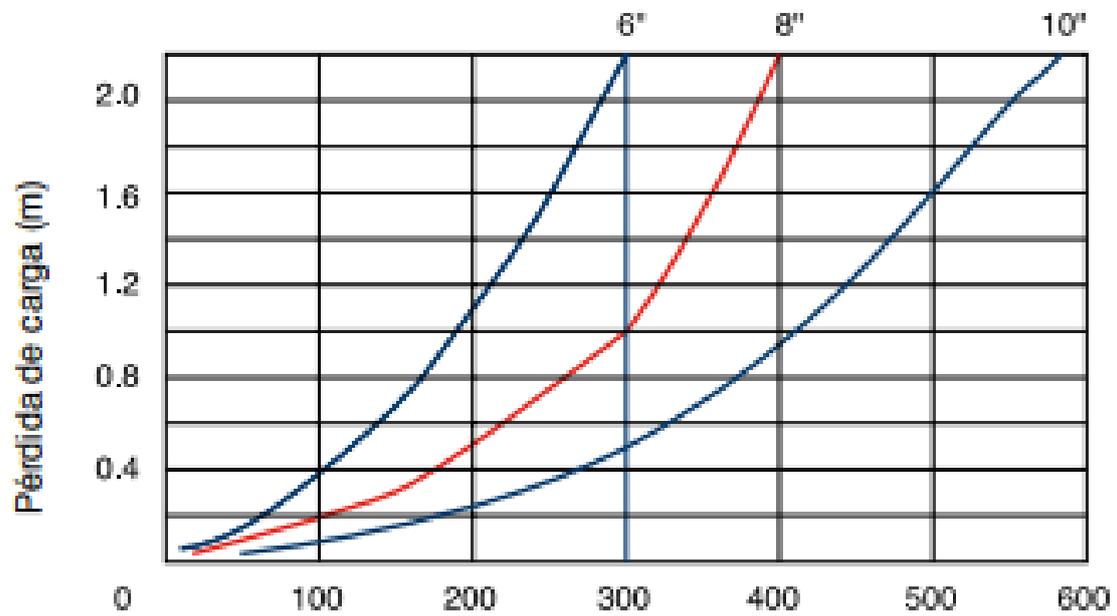
Fuente: BERMAD Riego (2016).

Anexo 7. Diagrama de Pérdidas de carga en válvulas mariposa



Fuente: KITZ (2006)

Anexo 8. Diagrama de pérdidas de carga en válvula check



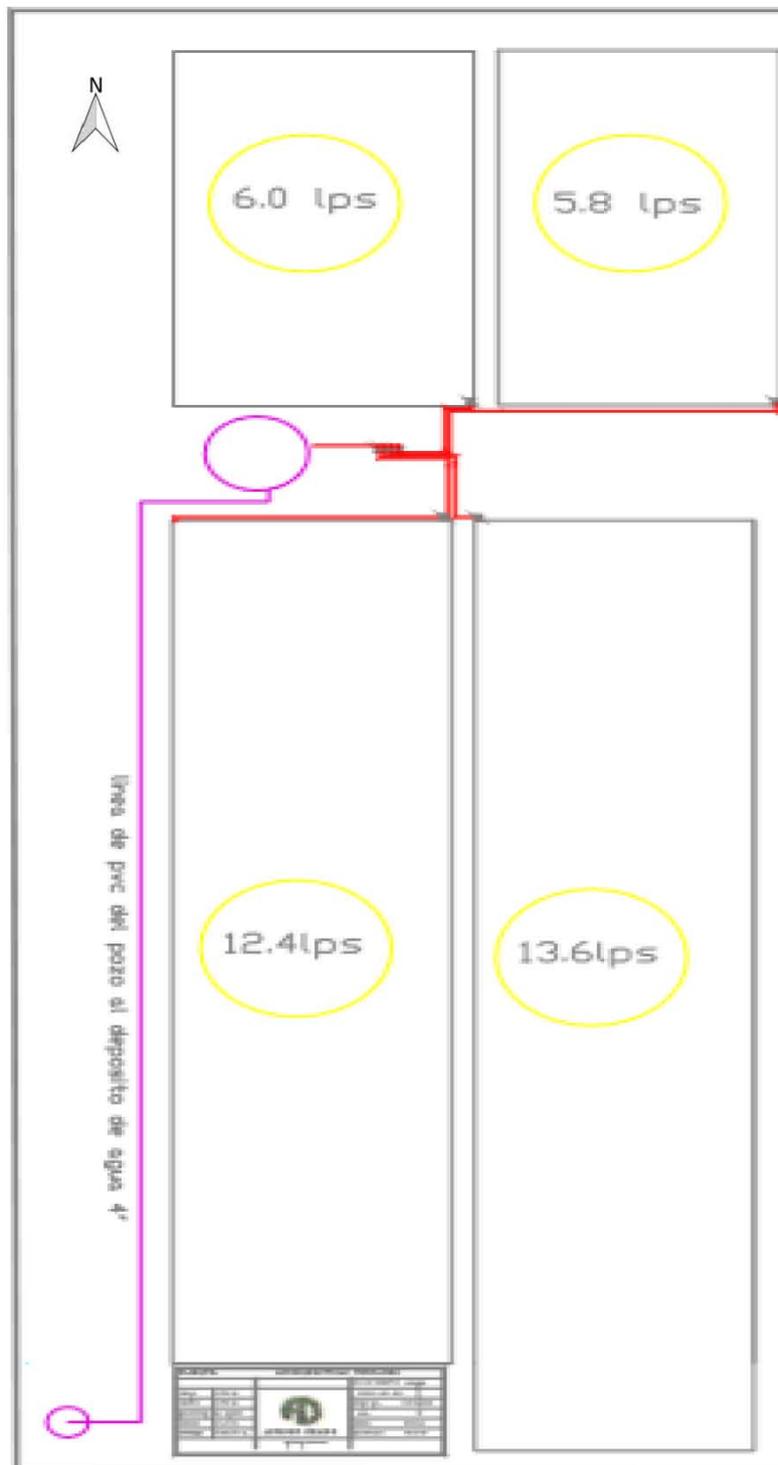
Fuente: A.R.I. (2015).

Anexo 9. Resultados de las pruebas de permeámetro, con el método “Permeámetro de carga constante” para tezontle.

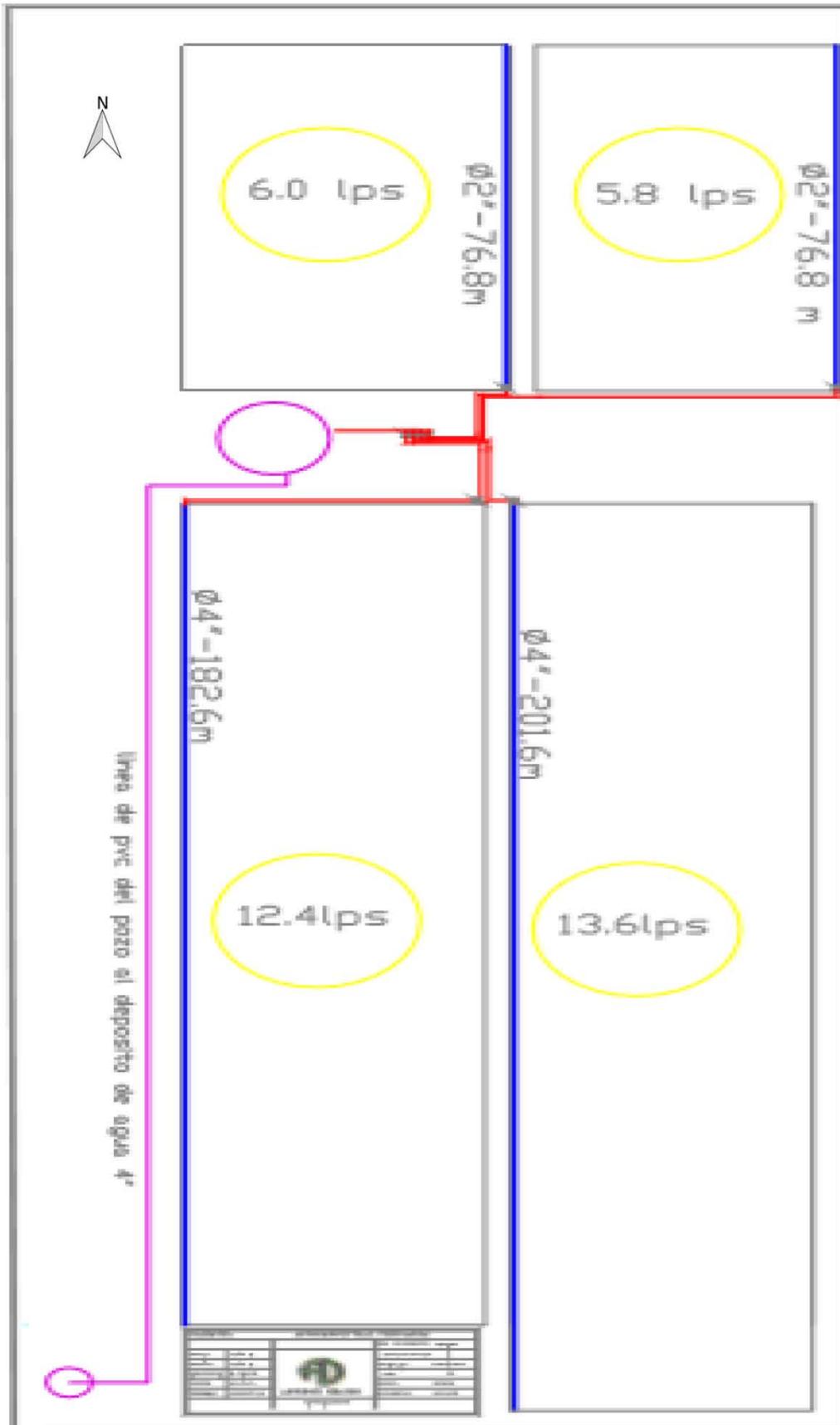
Diámetro	V	L	A	h	t	k	P	cm/h
<0.5	64.1	20	706.86	50	60	0.000604553		
	63.8	20	706.86	50	60	0.000601724	0.00060	2.2
	62.9	20	706.86	50	60	0.000593235		
0.5-1.0	81.1	20	706.86	50	60	0.000764887		
	81.3	20	706.86	50	60	0.000766773	0.00077	2.8
	82.4	20	706.86	50	60	0.000777148		
1.0-3.0	94.3	20	706.86	50	60	0.000889381		
	91.1	20	706.86	50	60	0.000859201	0.00087	3.1
	92.4	20	706.86	50	60	0.000871462		
3.0-5.0	109.3	20	706.86	50	60	0.001030852		
	106.3	20	706.86	50	60	0.001002558	0.00101	3.6
	105.1	20	706.86	50	60	0.000991241		
5.0-7.0	110.3	20	706.86	50	60	0.001040284		
	112.2	20	706.86	50	60	0.001058204	0.00104	3.8
	109.4	20	706.86	50	60	0.001031796		
>7	127.8	20	706.86	50	60	0.001205333		
	121.3	20	706.86	50	60	0.001144029	0.00119	4.3
	129.3	20	706.86	50	60	0.001219481		
Sin criba	99.4	20	706.86	50	60	0.000937482		
	98.9	20	706.86	50	60	0.000932766	0.00093	3.4
	97.8	20	706.86	50	60	0.000922391		

V= Cantidad de agua recogida (cm³), L= Tamaño de la muestra (cm), A= Área de la sección transversal (cm²), h= carga hidráulica, t= Tiempo de la prueba (s), k= Coeficiente de permeabilidad, P= Promedio de las 3 muestras (cm/s).

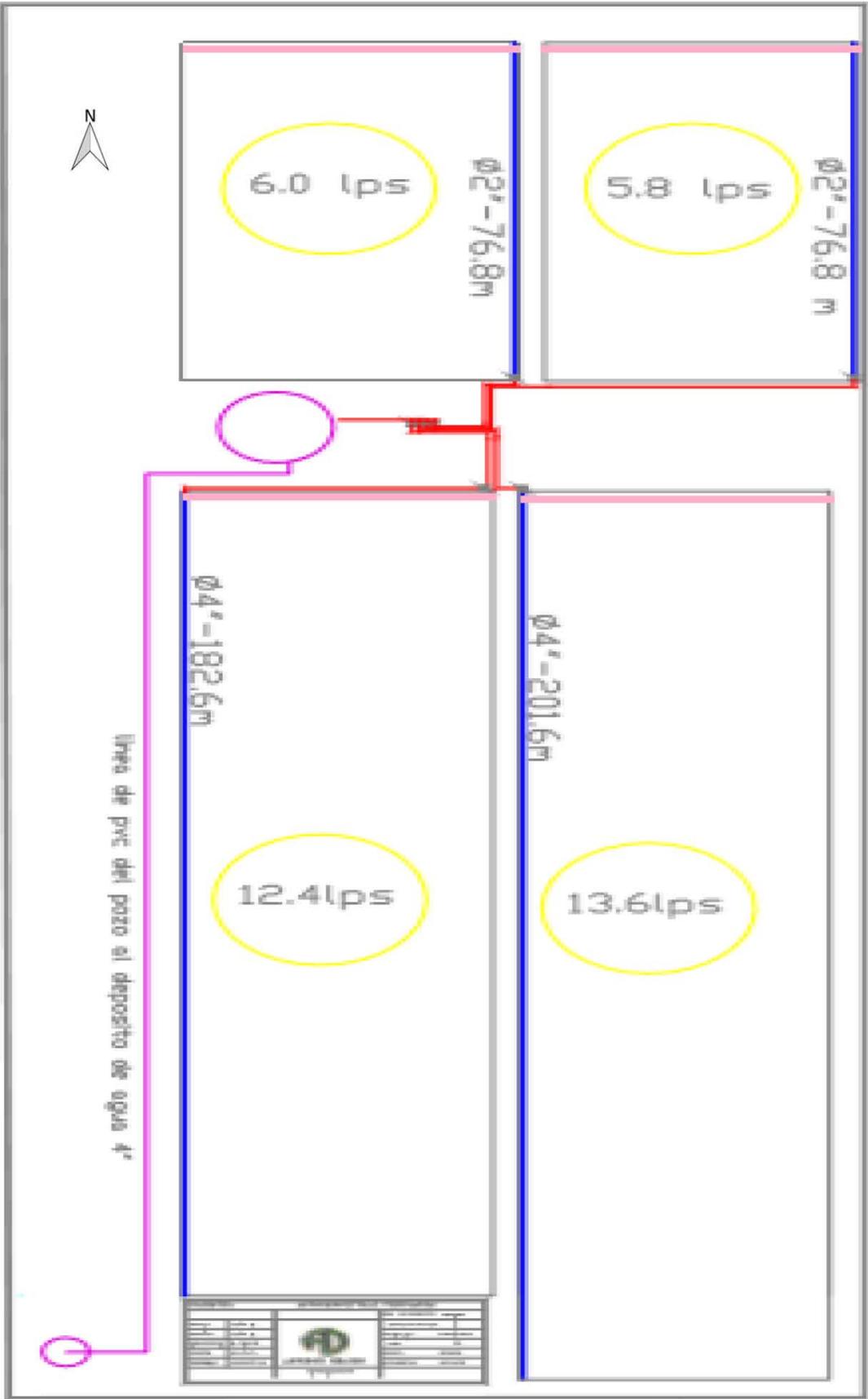
Anexo 10. Plano de líneas principal y sub-principales con válvulas de distribución



Anexo 11. Plano de líneas secundarias



Anexo 12. Plano de líneas regantes



Anexo 14. Valores de ecuación de presión atmosférica menos presión de saturación de vapor para calcular aspiración positiva neta disponible. H_0-H_v en función de temperatura y altitud

Temperatura del agua (°C)	Altitud (msnm)				
	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	8.0
20	10.1	9.5	9.0	8.2	7.9
30	9.9	9.3	8.8	8.2	7.7
40	9.6	9.0	8.5	7.9	7.4
50	9.0	8.3	7.9	7.3	6.8
60	8.3	7.7	7.2	6.6	6.1

Fuente: Boswell (1990).

Anexo 15. Cotización del sistema de riego de la empresa Ingeniería en Fertiriego®



**INGENIERIA EN
FERTIRIEGO SA DE CV**

HOJA 1

TELS. 01 55 1563 4286, 01 55 1089 2146, 01 55 10892107

E-MAIL riegomex@prodigy.net.mx, danmex@prodigy.net.mx

FECHA: 12-ABRIL-
2016

COTIZACION No GU14-10033B

CLIENTE: JUSTINO ARTEAGA

AT'N: JUSTINO ARTEAGA

VIGENCIA: 30 DIAS HABILES

CULTIVO : 2.17 HAS (2 MODULOS)

CONDICIONES: **CONTADO**

ENTREGA:

PRECIOS: **LAB. BODEGA DF**

MODEDA

DOLARES

DESCRIPCIÓN	CODIGO	CANTIDAD	UNIDAD	P.UNITARIO	P. TOTAL
EQUIPO DE RIEGO POR GOTEO					
GOTERO DE BOTON JUNIOR PC DE 8 L/H + CNL		15,260	PZS	\$ 0.13	\$ 1,983.80
DISTRIBUIDOR DE 4 SALIDAS		15,260	PZS	\$ 0.07	\$ 1,068.20
ESTACA TIPO GOTERO DE 2 L/H		61,040	PZS	\$ 0.07	\$ 4,272.80
TUBING DE PVC 3*5 NEGRO/BLANCO		36,905	M	\$ 0.19	\$ 7,011.95
PUNCH 2MM		10	PZS	\$ 18.00	\$ 180.00
POINT TESTING FOR P.E 1/4"		4	PZS	\$ 1.80	\$ 7.20
CONECTOR INICIAL DE PVC X 20 MM		260	PZS	\$ 0.65	\$ 169.00
CONECTOR 20 x 20 MM		100	PZS	\$ 0.20	\$ 20.00
CONECTOR PLASSIM COMPRESS DE 20 MM		260	PZS	\$ 3.00	\$ 780.00
TUBERIA DE POLIETILENO DE 20 MM 2.5 ATM BLANCO/NEGRO		11895	M	\$ 0.36	\$ 4,282.20
VALVULA HCA DE PVC MOD 96-4 DE 4" ELECTRICA		2	PZS	\$ 230.00	\$ 460.00
VALVULA HCA DE PLAST MOD 75-2 DE 2" ELECTRICA		2	PZS	\$ 110.00	\$ 220.00
VALVULA HCA DE PVC MOD 96-4 DE 4" + PRV		2	PZS	\$ 280.00	\$ 560.00
VALVULA HCA DE PLAST MOD 75-2 DE 2" + PRV		2	PZS	\$ 130.00	\$ 260.00
VALV. AUTOMATICA DE AIRE BARAK DE 1"		4	PZS	\$ 95.00	\$ 380.00
VALV. AUTOMATICA DE AIRE BARAK DE 2"		3	PZS	\$ 110.00	\$ 330.00
VALVULA VENTOSA EMEK DE 1"		4	PZS	\$ 22.00	\$ 88.00
VALVULA VENTOSA EMEK DE 2"		2	PZS	\$ 32.00	\$ 64.00
AHUJA PARA MANOMETRO		2	PZS	\$ 18.00	\$ 36.00
MANOMETRO CON GLICERINA		2	PZS	\$ 18.00	\$ 36.00
CABLE DEL 18 DE 2 HILOS REFORZADO		60	M	\$ 1.20	\$ 72.00
				SUMA	\$ 22,281.15

RED DE DRENAJE

CONECTOR INICIAL DE PVC X 20 MM	260	PZS	\$ 0.65	\$ 169.00
CONECTOR 20 x 20 MM	30	PZS	\$ 0.20	\$ 6.00
CONECTOR PLASSIM COMPRESS DE 20 MM	260	PZS	\$ 3.00	\$ 780.00
TUBERIA DE POLIETILENO DE 20 MM 2.5 ATM BLANCO/NEGRO	305	M	\$ 0.36	\$ 109.80
				\$
			SUMA	1,064.80

TUBERIA DE PVC PARA DRENAJE Y LIMPIEZA

TUBERIA DE PVC HCO. CEMENTAR DE 2" CED.40	18	M		
TUBERIA DE PVC HCO. CEMENTAR DE 2" RD-41	390	M		
LOTE CONEXIONES	1	LOTE		
				\$
			SUMA	1,065.00

CANTIDAD CON LETRA **SON VEINTICUATRO MIL CUATROCIENTOS DIEZ DOLARES 95/100 DLS**

OBSERVACIONES

SUB TOTAL	\$24,410.95
IVA	
	\$
TOTAL	24,410.95

PARA REALIZAR DEPOSITO ES EN BANAMEX

A NOMBRE DE INGENIERIA EN FERTIRIEGO

SA DE CV

SUC 269

CTA EN

CLABE PESOS

0021 8002 6978 2317 77

PESOS 7823177

SUC 269

CTA EN

CLABE DOLARES

0021 8002 6992 7664 51

DOLARES 9276645

EN CASO DE NO COMPLETA UN EQUIPO DE RIEGO COMPLETO PARA LA AGRICULTURA CAUSA

I.V.A. 16%

TODA DEVOLUCION AUTORIZADA DE MERCANCIA Y/O CHEQUE CAUSARA UN 20% POR CARGOS ADMINISTRATIVOS

BENITO JUAREZ, MZA 24. LOTE 15, COL SAN MIGUEL TEOTONGO IZTAPALAPA D.F. C.P. 09630



INGENIERIA EN FERTIRIEGO SA DE CV

HOJA 2

1 55 1563 4286, 01 55 1089 2146, 01 55 10892107
E-MAIL riegomex@prodigy.net.mx, danmex@prodigy.net.mx

COTIZACION No GU14-10033B

FECHA:12-ABRIL-2016

CLIENTE: JUSTINO ARTEAGA

CONDICIONES: CONTADO

AT'N: JUSTINO ARTEAGA

ENTREGA:

VIGENCIA: 30 DIAS HABILES

PRECIOS: LAB. BODEGA DF

CULTIVO : 2.17 HAS (2 MODULOS)

DOLARES

DESCRIPCIÓN	CODIGO	MODEDA	CANTIDA	UNIDA	P.UNITARI	P. TOTAL
	O	D	D	D	O	
CABEZAL DE RIEGO						
VALVULA CHECK ARI DE 4"			1	PZA	\$ 175.00	\$ 175.00
VALVULA DE ALIVIO DE PRESION RAPIDO DE 2"			1	PZA	\$ 365.00	\$ 365.00
BATERIAL DE FILTROS S.K. DE 4u x 3" DE 120 MESH			1	PZA	\$ 7,500.00	\$ 7,500.00
MEDIDOR DE FLUJO DE TIPO WOLTMAN DE 4" + PULSO			1	PZA	\$ 450.00	\$ 450.00
VALVULA MARIPOSA RAPHAEL DE VOLANTE 4"			1	PZA	\$ 175.00	\$ 175.00
					SUMA	8,665.00
TUBERIA Y CONEXIONES DE PVC						
TUBERIA DE PVC HCO. CEMENTAR DE 4" CED.40			24	M		
TUBERIA DE PVC HCO. CEMENTAR DE 2" CED.40			30	M		
TUBERIA DE PVC HCO. CEMENTAR DE 1" CED. 40			6	M		
TUBERIA DE PVC HCO. CEMENTAR DE 4" RD-41			60	M		
TUBERIA DE PVC HCO. CEMENTAR DE 3" RD-41			390	M		
TUBERIA DE PVC HCO. CEMENTAR DE 2 1/2" RD-41			180	M		
TUBERIA DE PVC HCO. CEMENTAR DE 2" RD-41			12	M		
LOTE DE CONEXIONES DE PVC			1	LOTE		
					SUMA	4,200.00
SILO PARA AGUA CON UNA CAPACIDAD DE 295 M3						
			1	PZA	\$ 12,000.00	\$ 12,000.00
ACCESORIOS SUCCION Y DESCARGA						
INCLUYE BRIDAS DE FIRRO FUNDIDO CON SUS EMPAQUES Y TORNILLOS, NIPLES, CODOS TEES DE FIERRO GALVANIZADO Y TUBERIA Y CONEXIONES DE PVC			1	LOTE	\$ 600.00	\$ 600.00
UNIDAD DE BOMBEO						
ELECTROBOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL MARCA BARNES MOD. IB21/2-152 DE 15 HP A 3450 RPM CON SUCCION DE 3" Y			1	PZA	\$ 1,900.00	\$ 1,900.00

Y DESCARGA DE 2 1/2" TRIFASICA A 220/440 VOLTS

TABLERO DE CONTROL	1	PZA	\$ 800.00	\$ 800.00
PROVISTRO DE ARRANCADOR SUAVE PARA MOTOR DE 15 HP ATRIFASICO A 220 VOLTS, INTERRUTOR TERMOMAGNETICO, LUCES INDICADORAS M-F-A, RELEVADORES DE POTENCIA				
UNIDAD PARA AGITAR LOS FERTILIZANTES	1	LOTE	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00
TANQUE DOBLE REFORZADO ESPECIAL PARA QUIMICOS	5	PZA		
DE 2500 LTS.				
SOPLADOR DE 1 1/2 HP CON MOTOR DE 120 VOLTS PARA 2000LTS.	1	PZA		
PANEL DE CONTROL PARA SOPLADORES, ACC. DE PVC CD. 80 PARA CONECTAR TANQUES A SOPLADORES	1	LOTE		
CANTIDAD CON LETRA SON TREINTA Y TRES MIL CIENTOSESENTA Y CINCO LARES 00/100 DLS	1	LOTE		\$33,165.00
OBSERVACIONES			SUB TOTAL	0
			IVA	
			TOTAL	\$ 33,165.00

PARA REALIZAR DEPOSITO ES EN BANAMEX

A NOMBRE DE INGENIERIA EN FERTIRIEGO SA DE CV

SUC 269

CTA EN CLABE PESOS

0021 8002 6978 2317

PESOS 7823177

77

SUC 269

CTA EN CLABE DOLARES

0021 8002 6992 7664

DOLARES 9276645

51

EN CASO DE NO COMPLETA UN EQUIPO DE RIEGO COMPLETO PARA LA AGRICULTURA CAUSA I.V.A. 16%

TODA DEVOLUCION AUTORIZADA DE MERCANCIA Y/O CHEQUE CAUSARA UN 20% POR CARGOS ADMINISTRATIVOS

BENITO JUAREZ, MZA 24. LOTE 15, COL SAN MIGUEL TEOTONGO IZTAPALAPA D.F. C.P. 09630



COTIZACION No GU14-10033B

CLIENTE: JUSTINO ARTEAGA

AT'N: JUSTINO ARTEAGA

VIGENCIA: 30 DIAS HABILDES

CULTIVO : 2.17 HAS (2 MODULOS)

FECHA: 12-ABRIL-2016

CONDICIONES: CONTADO

ENTREGA:

PRECIOS: LAB. BODEGA DF
DOLARES

DESCRIPCIÓN	CODIG O	CANTID AD	UNIDA D	P.UNITAR IO	P. TOTAL
MESA DE FERTILIZACION GAVISH AUTOMATICA		1	PZA	\$ 23,000.00	\$ 23,000.00
FERTI BY-PASS DE 4-1 x 1000 L/H					
CONTROLADOR SPIRIT 32		1	PZA		
INYECTOR DE FERTILIZANTES TIPO VENTURY (1000 l/h)		4	PZA		
INYECTOR DE ACIDO TIPO VENTURY (1000 l/h)		1	PZA		
VALVULA SOLENOIDE SIRAI DE 24 VOLTS		5	PZA		
BOMBA BOOSTER DE 7.5 HP DE		1	PZA		
MONITOR DE EC Y PH		1	PZA		
SENSOR DE EC		1	PZA		
SENSOR DE PH		1	PZA		
FLUJOMETROS VISIBLES		5	PZA		
SOFTWARE PARA PC		5	PZA		
MEDIDORES DE FERTILIZANTES DE 1/2"		5	PZA		
INTERFASE PARA PC GAVISH 85					
NO INCLUYE PC					
ESTACION METEREOLÓGICA		1	LOTE	\$ 4,800.00	\$ 4,800.00
INCLUYE					
SENSOR DE LLUVIA					
SENSOR DE RADIACION SOLAR					
SENSOR DE VELOCIDAD DE VIENTO					
SENSOR DE DIRECCION DE VIENTO					
SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA					
TRABAJOS DE INSTALACION		1	LOTE	\$ 4,000.00	\$ 4,000.00
INCLUYE: ARMADO DE CABEZAL DE RIEGO TENDIDO DE TUBERIA DE PVC, PURGA Y LIMPIEZA DE LINEAS					
PRUEBAS HIDRAULICAS					

NOTA: NO INCLUYE APERTURA Y CIERRE DE CEPAS, OBRA CIVIL

OBRA ELECTRICA ASI COMO LOS MATERIALES INHERENTES PARA LOS MISMOS, TENDIDO DE MANGUERA Y ARMADO DE GOTEO

CANTIDAD CON LETRA SON TREINTA Y UN MIL OCHOCIENTOS DOLARES 00/100 DLS		\$31,800.
OBSERVACIONES	SUB TOTAL	00
	IVA	\$
	TOTAL	31,800.0
		0

PARA REALIZAR DEPOSITO ES EN BANAMEX

A NOMBRE DE INGENIERIA EN FERTIRIEGO SA DE CV

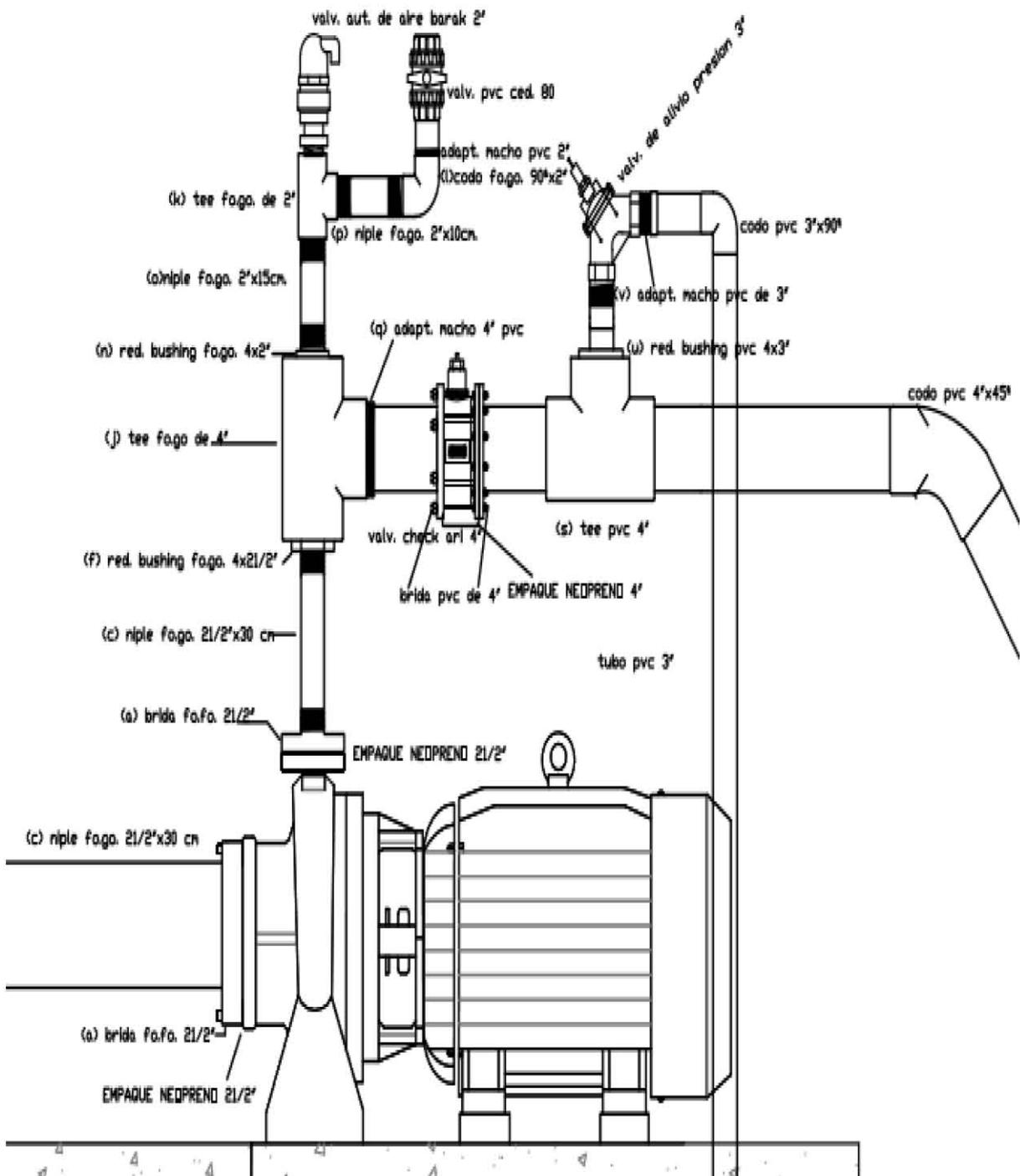
SUC 269	CTA EN	CLABE PESOS	0021 8002 6978
PESOS 7823177			2317 77
SUC 269	CTA EN	CLABE DOLARES	0021 8002 6992
DOLARES 9276645			7664 51

EN CASO DE NO COMPLETA UN EQUIPO DE RIEGO COMPLETO PARA LA AGRICULTURA CAUSA I.V.A. 16%

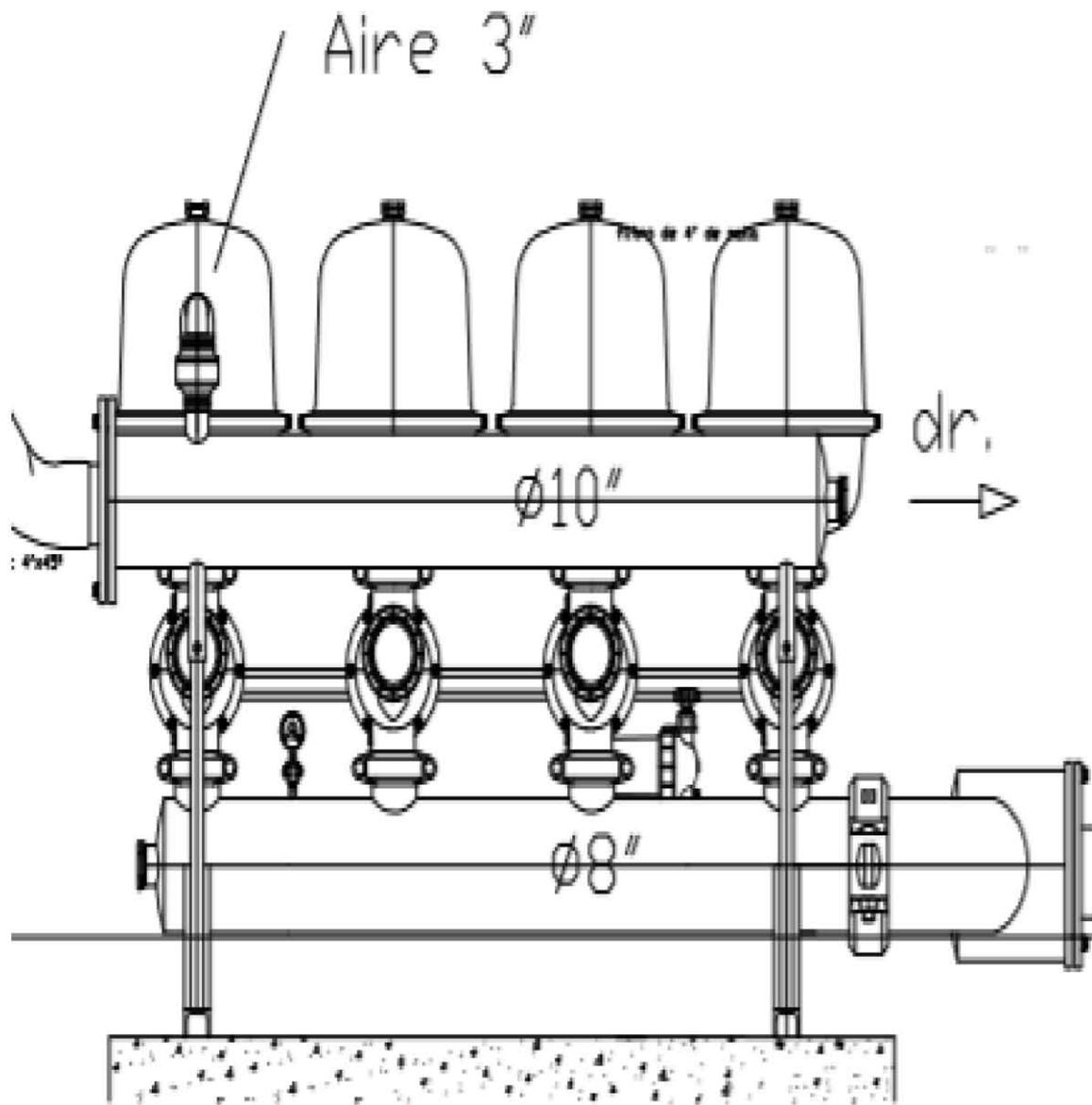
TODA DEVOLUCION AUTORIZADA DE MERCANCIA Y/O CHEQUE CAUSARA UN 20% POR CARGOS ADMINISTRATIVOS

BENITO JUAREZ, MZA 24. LOTE 15, COL SAN MIGUEL TEOTONGO IZTAPALAPA D.F. C.P. 09630

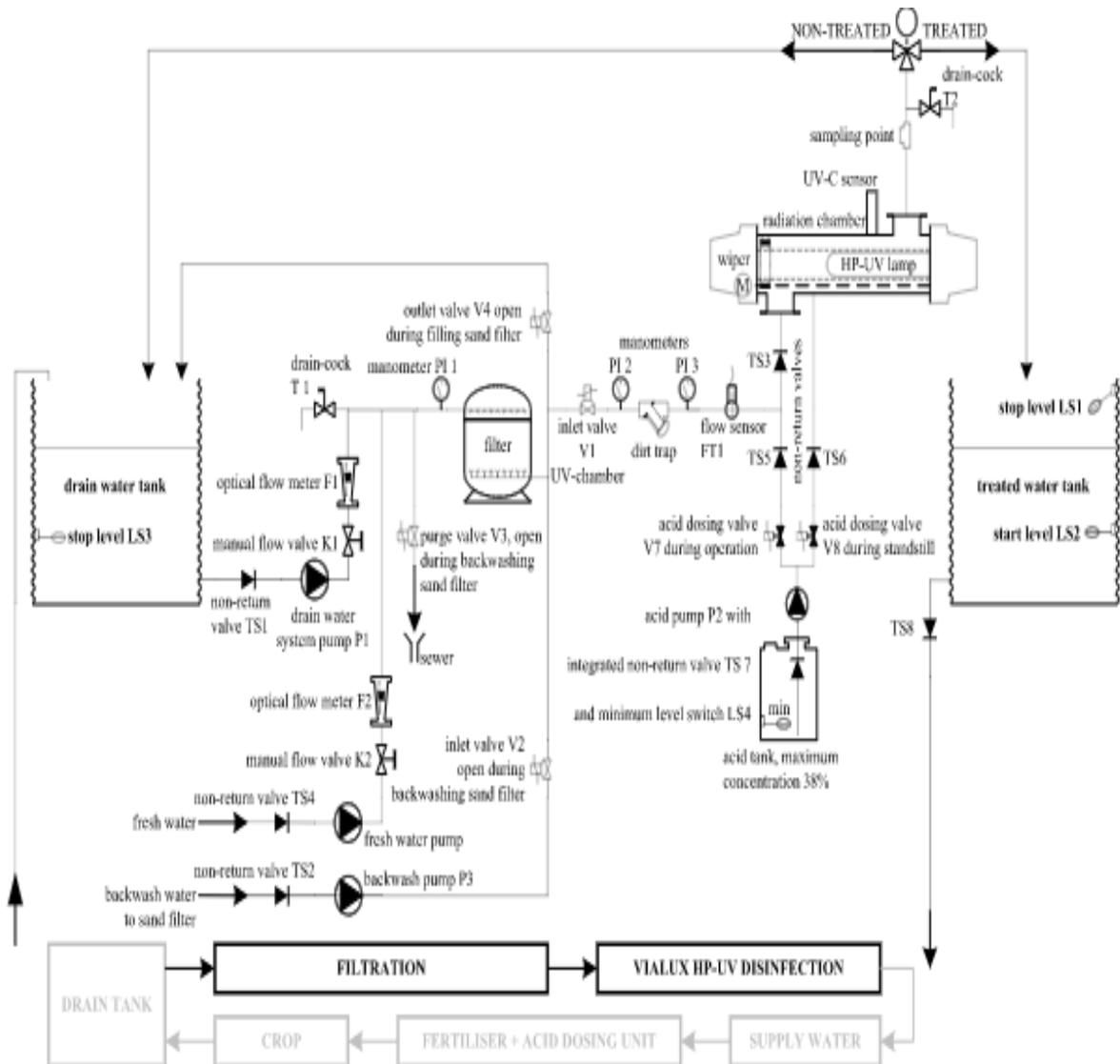
Anexo 16. Diagrama del sistema de bombeo



Anexo 17. Diagrama del sistema de filtrado



Anexo 18. Esquema del Vialux



Fuente: Agridor (2015)