



Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño



**Diseño de un sistema de riego eficiente para las plantaciones de tomate en
San Quintín Baja California, México**

Tesis

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el
grado de MAESTRO EN INGENIERIA presenta:

José Alonso Aguilar Ojeda

24 de Julio de 2017, Ensenada Baja California, México.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD ENSENADA

**Diseño de un sistema de riego eficiente para las plantaciones de
tomate en San Quintín, Baja California, México.**

TESIS

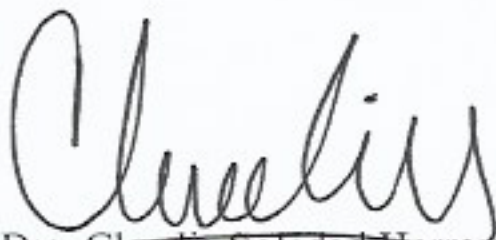
Que para obtener el grado de maestría en ingeniería presenta:

José Alonso Aguilar Ojeda

Aprobada por:



Dr. José Rubén Campos Gaytán
Director de tesis



Dra. Claudia Soledad Herrera Oliva
Miembro del comité



Mc. Isidro Bazante González
Miembro del comité

Ensenada Baja California, México. Julio 2017

Resumen.

En este estudio se diseña un sistema de riego eficiente para la Región del Valle de San Quintín, Baja California, México. Para lo cual, se ha considerado los resultados de un experimento llevado a cabo en la región de interés. A partir del experimento se ha estimado la cantidad de agua que se puede ahorrar en un sistema de riego si se evita que la misma se evapore. El ahorro de agua ha sido posible debido al empleo de un dispositivo anti-evaporación (DIANEV) añadido al sistema, al aprovechamiento de la estructura del invernadero para la captación de agua de lluvia, y a la utilización de ésta para el riego. Los diámetros para las tuberías principales del sistema de riego fueron calculados a partir de la fórmula de Bresse, mientras que, las pérdidas fueron calculadas con la ecuación de Darcy-Weisbach. El sistema de riego diseñado (o mejorado) fue modelado en el programa EPANET para verificar que se comportara de manera aceptable. En el sistema de riego mejorado, la tubería principal (de 3 pulgadas) tiene un diámetro 50% más pequeño que el diámetro de la tubería principal en el sistema de riego convencional (6 pulgadas); lo anterior, sin perjudicar el desempeño del sistema de riego. Por otra parte, el costo de suministro y habilitación del sistema de riego mejorado (MX \$ 1'229,325.00), tal como el diseñado en este trabajo, es hasta 6% más económico que el de un sistema de riego convencional (MX \$ 1'302,241.00).

Dedicatoria.

Dedico esta tesis a mis padres, quienes han sido un gran apoyo en todos los aspectos de mi vida, a mis hermanos que siempre me estuvieron motivando y en especial a mi esposa quien me alienta a una mejora constante.

Agradecimientos.

Al CONACYT por la beca manutención otorgada.

A la Facultad de Ingeniería Arquitectura y Diseño por proporcionarme el espacio y material de biblioteca esencial para la realización de este trabajo.

A la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín por prestarnos sus instalaciones para el desarrollo de la parte experimental de este trabajo.

A mi director José Rubén Campos Gaytán, por su apoyo y gran paciencia a lo largo del desarrollo de este trabajo, por el préstamo de equipo y por proporcionar recursos para el desarrollo del experimento.

A los miembros del comité Claudia Soledad Herrera Oliva por su apoyo y aporte a mi desarrollo académico e Isidro Bazante González por el apoyo y aporte de experiencia agrícola durante todo el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros de posgrado Alejandro Figueroa Núñez y Darío Aranda por el aliento a seguir adelante y sus buenos consejos.

CONTENIDO

I. Introducción.	1
I.1. Planteamiento del problema.....	2
I.2. Antecedentes.....	3
I.2.1 Sistemas de riego.....	3
I.2.2 El ahorro del agua.....	6
I.3. Objetivos.....	11
I.3.1 objetivo general.....	11
I.3.2 objetivos particulares.....	11
I.4 Hipótesis.....	12
II. Conceptos básicos.	13
II.1 Sistema de riego.....	13
II.1.1 Componentes del sistema de riego.....	13
II.1.1.1 Reservoirio.....	13
II.1.1.2 Estación de bombeo.....	14
II.1.1.3 Red de distribución.....	14
II.2 Captación de agua de lluvia.....	14
II.3 Invernadero.....	15
III. Metodología.	15
III.1 Descripción del experimento.	15
III.1.1 Selección del cultivo.....	20
III.1.2 Materiales y equipos.....	21
III.2 Especificaciones del sistema de riego.....	21
III.2 .1 Dimensionamiento.	21
III.2 .2 Calculo de las perdidas en el sistema de riego.	25
III.2 .2 .1 Pérdidas por fricción.....	25
III.2 .2 .2 Pérdidas por accesorio.....	28
III.3 Especificaciones del sistema de captación de lluvia.....	29
III.3.1 Tipo de invernadero.....	29
III.3.2 Dimensiones del invernadero.....	30
III.3.3 Materiales.....	31
III.4 Especificaciones del reservorio.....	34
III.4.1 Precipitación en la zona.....	34
III.4.2 Volumen de agua que se puede captar.....	39
III.4.2.1 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento.....	41
III.4.2.2 Tipo de reservorio.....	41
IV. Resultados.	42
IV.1 Resultados del experimento.....	42
IV.2 Aplicación de los resultados.	45
IV.2 .1 Dimensionamiento.	45
IV.2 .2 Calculo de las perdidas en el sistema de riego.	46
IV.2 .2 .1 Pérdidas por fricción.....	46
IV.2 .2 .2 Pérdidas por accesorio.....	47
V. Discusión.	47
V.1 Discusión de resultados.....	47
VI. Conclusión.	50

I. Introducción

El agua es un recurso indispensable para la vida. La vida actual y de las futuras generaciones depende del buen uso que hagamos de él. El agua es empleada de diversas formas, para el consumo humano, en la agricultura y la industria, prácticamente en todas las actividades del ser humano. En México en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), se registran los volúmenes concesionados (o asignados, en el caso de volúmenes destinados al uso público urbano o doméstico) a los usuarios de aguas nacionales, en dicho registro se tienen agrupados los usos del agua en: el agrícola con el 76.7%, el abastecimiento público con el 14.1%, la industria autoabastecida con el 4.1% y la generación de energía eléctrica con el 5.1%. (CONAGUA, 2010).

Sin embargo, este recurso es cada día más escaso, por ello es necesario implementar medidas para hacer un uso responsable y eficiente del agua, particularmente la destinada para uso agrícola, dado que es la actividad de mayor demanda.

Baja California es un estado de gran importancia en la agricultura comercial del país, cuenta con varias zonas agrícolas, entre ellas, el Valle de San Quintín. Este destaca por la importancia que tiene en la producción de hortalizas y frutas para la exportación, lo que lo convierte en la segunda zona agrícola más productiva del Estado. El agua superficial en la zona de estudio no es abundante debido a la baja precipitación anual de 85.3 mm (Secretaría de Fomento Agropecuario (SEFOA), 2013) y a una evapotranspiración anual de aproximadamente 3.4 millones de metros cúbicos (SEFOA, 2015), lo que ha provocado la sobreexplotación de los acuíferos.

Por lo expuesto anteriormente, es apremiante realizar acciones para hacer un uso eficiente del agua, es decir es necesario tomar medidas que reduzcan la cantidad de agua que se utiliza para riego por unidad de cualquier cultivo.

En la actualidad, en la Región del Valle de San Quintín, los sistemas de riego más usados son principalmente del tipo por goteo, los cuales, están contruidos con mangueras que se desechan con cada cultivo. Los materiales con que se construyen dichos sistemas son muy frágiles, y sufren un severo desgaste, obstrucciones (taponeo) y/o fugas durante su vida útil. Estos sistemas se utilizan para regar una gran cantidad de productos tales como fresas, tomate, chile, pepino, calabaza, sandia, brócoli, y en algunos casos cebada, trigo y alfalfa.

Otros sistemas de riego usados es esta zona son los sistemas de riego por aspersión, que están compuestos de grandes tuberías de aluminio y algunas de latón, muy duraderas, pero desperdician mucha agua y solo sirven para cultivos como cebada, alfalfa y trigo. Los sistemas de riego hidropónico usados recientemente en esta región, están compuestos por tuberías sintéticas más duraderas que las mangueras de riego por goteo, y sirven para regar plantas como tomate, pepino, lechuga y pimientos. Sin embargo, los recipientes donde se coloca la planta son desechados con cada cultivo, causando contaminación en el ambiente, ya que son bolsas plásticas, principalmente.

I.1. Planteamiento del problema

Como se mencionó en la sección anterior Las pérdidas de agua por evapotranspiración que afectan la región del Valle de San Quintín oscilan alrededor de 3.4 millones de metros cúbicos.

Cuando en la zona sur de Ensenada el consumo para un año según la Comisión Estatal del Agua de Baja California es de 2.1 millones de metros cúbicos.

Es apremiante disminuir las pérdidas de agua por evapotranspiración, con ello se reducirá significativamente el gasto de agua, es por ello que en este trabajo de investigación se realizan los estudios específicos para identificar las características para el diseño, construcción e implementación de un sistema de riego que haga un uso más eficiente del agua utilizada para el riego de cultivos bajo condiciones de invernadero, en este trabajo se emplea el dispositivo de riego en el cultivo de tomate porque es uno de los cultivos que tienen mayor derrama económica en la región del Valle de San Quintín. Mediante el desarrollo de esta investigación se propone un sistema de riego que no sea desechable con el cambio de un cultivo a otro, y que reduzca o elimine el desperdicio del recurso hídrico, que sea utilizado en la agricultura protegida, es decir cultivos dentro de invernaderos, los cuales sirvan para captar el agua de lluvia y utilizarla en el mismo sistema, para así aumentar la eficiencia del sistema de riego.

I.2. Antecedentes

I.2.1 Sistemas de riego

Los sistemas de riego existen desde tiempos inmemorables, hace unos 6000 años los egipcios usaban el Río Nilo para regar el campo por medio de las inundaciones anuales. Cuando el río aumentaba su caudal, este aumentaba la elevación de su tirante de agua, y en consecuencia se inundaban los campos a sus alrededores. Como los egipcios se dieron cuenta que cada año el agua del río llegaba a la misma altura en su caudal máximo, aprovechaban ese conocimiento para sembrar previamente, es decir, ponían las semillas en el campo inundable en tiempo de sequías y se regaba con la inundación anual. Se puede decir que fue uno de los

primeros sistemas de riego utilizado por el hombre. En el año 3100 A.C., se construyó el primer sistema de riego a gran escala, se utilizaron presas y canales para dirigir las aguas de inundación del Nilo hacia el Lago Moeris. Sería un milenio más tarde cuando aparecieron las tuberías de cemento y de roca molida. Los acueductos, una invención construida por los ingenieros romanos, permitían transportar el agua salvando los desniveles del terreno. Por otro lado, en la cultura azteca destacó el conocido como cultivo por chinampas, que consistía en una construcción de campos elevados dentro de una red de canales dragados sobre el lecho del lago. Así se reciclaban los nutrientes arrastrados por las lluvias. Los Mayas, que estaban asentados en la selva tropical, establecieron diferentes técnicas adecuadas para cada tipo de terreno: campos elevados en zonas inundables y terrenos con desnivel en zonas de excesiva humedad. Construían terrazas de cultivo sostenidas por muros, así podían modificar la pendiente del terreno, contribuyendo a preservar la humedad y a mejorar la fertilidad del suelo. Posteriormente, en el año 250 A.C., Arquímedes enuncia principios fundamentales de la Hidrostática. Mientras que, en el año 150 A.C., Hero de Alejandría y Ctesibius de Grecia, relacionan el área y caudal circulante de acuerdo a la velocidad (bomba de pistón).

En el siglo XV-XVI, Isaac Newton, establece leyes del movimiento y la relación matemática para la viscosidad de los fluidos. Evangelista Torricelli, determina el movimiento a través de un orificio. Posteriormente, Pitot retoma el estudio y establece dicho movimiento en forma adecuada. Diversas contribuciones de Simon Stevin; Galileo Galilei; Leonardo da Vinci. En el siglo XVII-XVIII, Leonardo Euler y Daniel Bernoulli, padres de la hidrodinámica clásica, establecieron las ecuaciones generales del movimiento y el principio de conservación de la energía para fluidos en movimiento, respectivamente. Giovanni Battista Venturi, realizó investigaciones experimentales con ductos pequeños y fluidos en movimiento. En el siglo XIX,

hubo grandes desarrollos de la Hidráulica, debido a la producción de tuberías de fierro fundido. Destacando entre varios, los siguientes: a) Navier y Stokes, con desarrollos experimentales en tuberías, considerando la viscosidad del fluido; b) Joukowski, manejando estudios sobre el golpe de ariete; c) Osborne Reynolds, experimenta con la velocidad del fluido y determina el flujo laminar y turbulento, así como las bases para la conocida ecuación denominada Darcy-Weisbach, y d) Rayleigh y Froude, quienes experimentan de forma similar a Reynolds.

Todos estos conocimientos contribuyeron al desarrollo de la moderna tecnología de riego por goteo, la cual fue inventada en Israel por Simcha Blass y su hijo Yeshayahu. En lugar de liberar el agua por agujeros minúsculos, que fácilmente se podían obstruir por acumulación de partículas minúsculas, el agua se libera por tuberías más grandes y más largas empleando el frotamiento para ralentizar la velocidad del agua en el interior de un emisor (gotero) de plástico. El primer sistema experimental de este tipo fue establecido en 1959 cuando la familia de Blass en el Kibboutz Hatzerim creó una compañía de riegos llamada *Netafim*.

A continuación, desarrollaron y patentaron el primer emisor exterior de riego por gota a gota. En 1976, Gershon Eckstein (empresa DIS) inventa la máquina extrusora de goteros, eliminando la necesidad de insertar los goteros en el campo. Posteriormente, los enrolladores automáticos permitieron acelerar la velocidad de fabricación por encima de los 65 m/min.

De acuerdo con la Food and Agriculture Organization (FAO), la superficie mundial agrícola es de 5,016,729,000.00 hectáreas, de las cuales 107,300,000.00 hectáreas son de México (FAO, 2004). Correspondiendo esta última cantidad a la superficie total factible para el uso de sistemas de riego en nuestro país. En la República Mexicana el 75.72% del agua que se utiliza

es destinada solo a la agricultura (Conagua, 2014), y debido a que la escasez de agua es un problema mundial hay que buscar la manera de reducir el consumo de agua.

Hoy en día existen diferentes tipos de sistemas de riego alrededor del mundo, tales como: riego por aspersores, riego por goteo, riego subterráneo, riego por inundación y modernos sistemas de riego hidropónico, una forma de ahorrar agua y reducir el consumo de agua de la agricultura es mejorando los sistemas de riego y minimizando o eliminando las pérdidas que tienen.

I.2.2 El ahorro del agua

La literatura existente sobre el ahorro de agua es muy amplia (Silva *et al.*, (2012); Fandiño (2009); Fuentes (2011); Vidal *et al.* (2012); Lorenzo *et al.* (2009); Giese (2015), y Lersel *et al.* (2015)), ya que la falta del recurso hídrico es un problema muy grave que afecta a todo el planeta, por lo que se encuentran muchas publicaciones del ahorro del agua no solo en los campos de cultivo sino que también buscan ahorrar agua en los hogares, en las ciudades, en los jardines y en las industrias, es decir, buscan el ahorro de agua en todos los lugares en que esta es utilizada.

Teniendo en cuenta las previsiones del cambio climático, y la escasez de agua a nivel mundial, existen investigaciones para ahorrar agua desde los hogares en la ducha, retretes y lavamanos, como es el caso de una regadera ahorradora de agua. Trabajo en el cual los alumnos del Instituto Politécnico Nacional trabajan en el desarrollo de una ducha que ahorre el agua fría recirculándola por la tubería y almacenándola en un tinaco para después utilizarla nuevamente, sin embargo solo se ha aplicado en duchas, y no en la industria.

Algunos artículos abordan la gestión de la demanda de agua desde una visión tecnológica y cultural como estrategia para el uso eficiente en sistemas de acueductos urbanos (Silva *et al*, 2012). Para esto es necesario conocer las dinámicas y los factores que afectan el consumo de agua en las viviendas con el fin de generar procesos de gestión desde este nivel y trascender a niveles superiores. En esa investigación también se promueven mecanismos sociales para el uso eficiente del agua y con ello ahorrar el recurso tan valioso; sin embargo, al igual que la regadera ahorradora de agua, estos son aplicados a las viviendas urbanas, mientras que el sistema de ahorro de agua que se pretende implementar con esta investigación solo será de uso agrícola.

Otros sectores de la población también buscan ahorrar agua en sus procesos, tales como la industria del sector curtidor que trabaja por el ahorro y uso eficiente del agua (Fandiño, 2009). En dicho sector se emplea técnicas innovadoras para el uso eficiente y ahorro de agua, ahí se plantea ahorrar el 4% de agua cada año.

Por otro lado, están los proyectos de cosecha de lluvia (Fuentes, 2011), donde se emplean los sistemas de captación y almacenamiento durante la temporada lluviosa del año, para almacenarla y poder utilizarla como esta se vaya necesitando. Sin embargo, ese sistema solo se está utilizando en la zona urbana y lo que se pretende con esta investigación es emplear las estructuras de invernaderos como captadores de agua de lluvia y utilizarla para el riego de las plantas del mismo invernadero.

Existen otras alternativas para el ahorro de agua, las cuales proponen un reuso del agua, tales como las que se plantean en Reyes Vidal *et al* (2012). Por ejemplo, se manejan dos casos de reuso de agua tratada, el primero es de agua usada para hacer nixtamal, llamada nejayote.

Aquí, se busca un tratamiento adecuado para poder reutilizar esa agua, se habla acerca de los contenidos del nejayote y el por qué es tan difícil tratar ese tipo de agua por medios convencionales. Sin embargo, en esta investigación el agua captada con los invernaderos se considera completamente limpia y sí se podría utilizar directamente en los campos de cultivo.

En una valoración crítica de la Revista CENIC Ciencia del Centro Nacional de Investigaciones en Ciencias, Lorenzo *et al* (2009) pretenden el reúso de aguas tratadas en los campos agrícolas en los que sus productos no estén destinados directamente a consumo humano, productos como forrajes para consumo animal y otros. Sin embargo, esta agua no puede ser utilizada para regar productos para el consumo humano, mientras que, con el agua de lluvia captada sí se podría regar cualquier tipo de cultivo, cualquiera que sea su destino de consumo.

En el medio agrícola también se han hecho investigaciones con la finalidad de ahorrar agua, por ejemplo, el caso de Giese (2015). En su publicación "*La agricultura en la era de internet* ", donde se están desarrollando diversos sistemas inalámbricos de monitoreo de la humedad del suelo, mismos que integrados a los sistemas de riego de precisión Lersel *et al* (2015) permiten a los agricultores llevar a cabo un riego eficiente sin desperdicio de agua y hasta detectar fugas cuando algún sistema de riego se dañe. Estos sistemas de monitoreo envían una alerta de exceso de humedad en algún punto de monitoreo, lo que hace que se detenga el riego y se repare la fuga. Lo anterior, es una innovación muy importante ya que las pérdidas por fugas se pueden minimizar en gran escala con este tipo de monitoreo aunado a sistemas de riego y enlazados a la red para que el agricultor tenga datos de lo que está sucediendo en tiempo real desde cualquier lugar en el que este se encuentre. Sin embargo, solo abordan el tema de pérdidas de agua por fugas o exceso de humedad y siguen teniendo pérdidas de agua por evaporación.

García Guerra *et al* (2004) evaluaron un sistema de riego por goteo subterráneo en caña de azúcar, en la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) Primer Soviet de América. Según el comportamiento de los indicadores fenológicos y del rendimiento se pudo observar una clara respuesta de la caña al riego por goteo, con un rendimiento agrícola de 206,00 toneladas por hectárea (Ton/Ha) en caña planta de 19 meses, y diferencia en relación con el secano de 106 Ton/Ha. Con tales resultados se demuestra que el riego por goteo subterráneo es un sistema muy eficiente. Sin embargo, debido a que en la región del Valle de San Quintín no se cosecha la caña, este sistema no es viable para la investigación. Por otro lado, este sistema está bajo el suelo y minimiza las pérdidas de agua por evaporación, pero aun así, sigue teniendo pérdidas por infiltración al subsuelo.

En una evaluación técnica-económica de los sistemas de riego por surco y goteo en la producción de tomate industrial, se realizó una comparación de dos tipos de sistema de riego. El riego por goteo y el riego por surco (es decir, el riego por inundación) fueron los sistemas de riego analizados. En esa investigación se concluyó que el sistema de riego por goteo es 3.7 veces más eficiente que el sistema de riego por inundación (Kalergis, 2000); lo que sugiere que el sistema de riego por inundación tiene más pérdidas de agua que el riego por goteo.

En Cuba, se llevó a cabo una investigación acerca de la uniformidad de los sistemas de riego por goteo bajo condiciones de invernadero. En estas unidades, la técnica que se utiliza para la aplicación del agua es el riego localizado por goteo, donde el funcionamiento de estos sistemas con una elevada eficiencia, contribuye a la obtención de cosechas con buena calidad y altos rendimientos (González *et al*, 2010). Sin embargo, este tipo de sistema de riego, aunque es muy eficiente tiene pérdidas por evaporación y pérdidas por infiltración, que es lo que en esta investigación se busca eliminar.

En Colombia García *et al.* (1995) realizaron una comparación entre el sistema de riego con vasijillas de barro y los sistemas de riego por goteo y riego por micro aspersión. En esa investigación concluyeron que regar con vasijillas de barro es más eficiente que los otros dos métodos; sin embargo, no tomaron en cuenta el gasto de agua que este tipo de riego lleva consigo, es decir, sí es un sistema de riego muy eficiente, pero dado que gasta agua en demasía, no es tan eficaz como los otros dos sistemas evaluados.

Un avance importante en el ahorro de agua de la agricultura es la Hidroponía Simplificada (Caldeyro *et al.*, 2006). En ella, se considera a la hidroponía como un tipo de agricultura moderno para ser implementado en las ciudades para ahorrar espacio de cultivo. Pero es un ahorro no solo de espacio, sino que es uno de los sistemas de riego que más agua ahorra, ya que el agua nunca toca el suelo, por lo que esta no se infiltra en él y no se pierde por infiltraciones. Sin embargo, sí tiene una única pérdida, el sistema de riego hidropónico tiene la pérdida por evapotranspiración, la cual se divide en dos, evaporación y transpiración de la planta. Si esta pérdida la manejamos como dos variables, la transpiración de la planta no se puede quitar ya que es una función biológica de la misma, pero, la evaporación que se lleva a cabo en las macetas sí se puede eliminar con un dispositivo, el mismo al que se piensa llegar en esta investigación.

I.3. Objetivos

I.3.1 objetivo general

El objetivo de esta investigación es diseñar de un sistema de riego eficiente, que cuente con captadores de agua de lluvia, minimice las pérdidas de agua por evaporación, que se pueda utilizar para diferentes tipos de cultivos, y que tenga una vida útil mayor a aquella de los sistemas de riego utilizados actualmente en la región del Valle de San Quintín.

I.3.2 objetivos particulares

Los principales objetivos de esta investigación son

1. Diseñar de un sistema de riego, desde la obra de toma, hasta el gotero más alejado. Con el propósito de minimizar el desperdicio y las pérdidas agua, es decir que solo suministre el agua necesaria para el correcto desarrollo de las plantas.
2. Análisis teórico del sistema de riego, revisar matemáticamente la pertinencia del modelo propuesto.
3. Utilizar el software Epanet para modelar el desempeño del sistema propuesto y hacer una comparación con el desempeño de un sistema de uso convencional.
4. Implementar en el sistema de riego, la estructura de los invernaderos, para captar el agua de lluvia y almacenarla en un reservorio. Posteriormente, cuando el agua sea requerida para el riego de plantas, esta se conducirá desde el reservorio.
5. Desarrollar un dispositivo que impida la evaporación del agua de las macetas y permita reutilizarla en el sistema de riego.

I.4 Hipótesis

Las principales hipótesis son las siguientes:

- a) Evitando las pérdidas de agua por evaporación que ocurren en las macetas donde se planta el tomate Saladett, se ahorra un porcentaje de agua. Por lo que al conocer la cantidad de agua que se puede ahorrar evitando las pérdidas por evaporación, se puede diseñar el sistema de riego con un gasto (Q) menor. Esto, a su vez implicará como resultado el diseño de un diámetro menor de la tubería que compone el sistema de riego y, por consiguiente, una inversión económica menor para el suministro e instalación de la tubería.
- b) Aprovechando el agua de lluvia interceptada por la techumbre del invernadero donde se cultiva el tomate Saladett, se ahorra una importante cantidad de agua. Esto, considerando que esa misma cantidad de agua ya no se necesitará comprar o extraer del subsuelo por medio de bombas de pozo profundo.

II Conceptos básicos

II.1 Sistema de riego

Se denomina sistema de riego al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas (Valencia, 2016), pero una definición más acertada de sistema de riego es la siguiente: conjunto de instalaciones técnicas que garantizan la organización y realización del mejoramiento de tierras mediante el riego (Aidarov, 1985).

II.1.1 Componentes del sistema de riego

El sistema de riego consta de una serie de componentes, aunque no necesariamente debe constar de todas ellas, ya que el conjunto de componentes dependerá de si se trata de riego superficial (principalmente en su variante de riego por inundación), por aspersión, o por goteo.

El sistema de riego estudiado en este documento cuenta con los siguientes componentes:

II.1.1.1 Reservorio

Los reservorios de almacenamiento de agua pueden ser elevados, apoyados y enterrados. Los elevados, que pueden tomar la forma esférica, cilíndrica y de paralelepípedo, son construidos sobre torres, columnas, pilotes, etc.; los apoyados, que principalmente tienen forma rectangular y circular, son construidos directamente sobre la superficie del suelo; y los enterrados, de forma rectangular y circular, son construidos por debajo de la superficie del suelo (cisternas) (Agüero, 2004). El sistema de riego de esta investigación contará con un reservorio del tipo estanque sobre el nivel del suelo, construido con el material obtenido de la

nivelación del terreno donde se construirá el invernadero. El tipo de suelo es arcilloso, se construirán muros con este material de 6.2 m de ancho con una pendiente 1:1 en cada lado.

El interior del reservorio estará cubierto con polietileno de alta densidad para evitar fugas de agua. Los planos del reservorio están en el APÉNDICE A.

II.1.1.2 Estación de bombeo

Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución (Lima, 2005). Los planos de la estación de bombeo se encuentran en el APÉNDICE A.

II.1.1.3 Red de distribución

Una red de distribución es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta las tomas (Tzatchkov, 2007) para este caso las tomas son los goteros que dosifican el agua necesaria a cada una de las plantas. El sistema de riego tendrá una red de distribución de tuberías principales y secundarias de PVC y porta-goteros de polietileno de alta densidad.

II.2 Captación de agua de lluvia

Se define como captación y aprovechamiento del agua de lluvia a todo tipo de esfuerzo técnico, simple o complejo, surgido de la iniciativa de los agricultores o desarrollado científicamente, para aumentar la cantidad de agua de lluvia que se almacena en el suelo o en estructuras construidas, de tal manera que pueda ser utilizada posteriormente, bajo condiciones de déficit de lluvias (FAO, 2013).

II.3 Invernadero

En México, la horticultura protegida está en amplio crecimiento y desarrollo. En el año de 1980 se reportaron 300 hectáreas (ha) con este sistema de producción y en 2008 alrededor de 10,000 ha. Este sistema de producción ha presentado un elevado crecimiento en los últimos años (entre 20 y 25% anual), lo que ha generado contradicciones en el número de hectáreas (ha) actualmente establecidas. La Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en 2010 reportó 11,760 ha, mientras que para el mismo año la Asociación Mexicana de Agricultura Protegida, Asociación Civil (AMHPAC), en el mismo año censó 15,300 ha. En general, los invernaderos constituyen 44% y la malla sombra 51% de la superficie total. Los Estados que concentran el mayor número de hectáreas de cultivo en invernadero son: Sinaloa (22%), Baja California (14%), Baja California Sur (12%) y Jalisco (10%); en estas cuatro entidades se encuentra más del 50% de la producción total de cultivos protegidos. (Juárez *et al.*, 2011).

III Metodología

III.1. Descripción del experimento

El objetivo de este trabajo es disminuir o eliminar las pérdidas de agua por evaporación en un sistema de riego, para ello, se realizó un experimento en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín de la Universidad Autónoma de Baja California (FINSQ-UABC). El experimento consistió en observar el desarrollo de 14 plantas de tomate Saladett, las cuales fueron separadas en dos grupos de 7 plantas trasplantadas en macetas con 15 litros de fibra de coco como sustrato. Ambos grupos de plantas analizados recibieron la misma cantidad de agua y nutrientes. Simultáneamente, y con la finalidad de comprobar la hipótesis

que dice: “evitando la evaporación del agua de las macetas se logra un ahorro de agua”, se diseñó e implementó un dispositivo que cumpliera con tal función. En este trabajo nos referiremos a este dispositivo como Dispositivo ANti-EVaporación (DIANEV).

En el experimento, el DIANEV se utilizó en la mitad de las plantas muestra empleadas para el experimento. El grupo de plantas que no utilizaron el DIANEV fueron enumeradas del 1 al 7; mientras que, las plantas que sí cuentan con el DIANEV se enumeraron del 1' al 7'.

El DIANEV está compuesto por una película impermeable, flexible y con ranura en el centro, esta última permite el paso de la planta a través de él. Este dispositivo se coloca encima de la maceta y con la holgura suficiente para el desarrollo pleno de la planta. Además, el dispositivo se coloca en forma de cono, con los bordes de la maceta como parte superior y el tronco de la planta como parte inferior. Lo anterior, para que al interceptar el vapor de agua producido durante el proceso de evaporación, este se condense y regrese a la maceta en forma de gotas de agua. Es importante que el dispositivo esté bien sujetado a los bordes de la maceta, para lograr una mayor eficiencia y evitar fugas de vapor de agua.

Para la realización de este experimento se eligió el tomate Saladett, porque el tomate es uno de los cultivos que brindan mayor beneficio económico a la zona de estudio. Por otro lado, el uso de macetas con fibra de coco se debe a que la hidroponía es una tecnología que ha resultado en mayor calidad y rendimientos de los cultivos, así como en el uso eficiente del agua, fertilizantes, químicos y pesticidas (Salazar *et al*, 2014).

Como se mencionó anteriormente, el experimento se realizó en un invernadero de media tecnología, lo que permite tener un mayor control de las variables que intervienen en el desarrollo de las plantas (tales como: temperatura, viento, precipitación y luz solar). En este

experimento se utilizaron recipientes de 20 litros de capacidad como macetas. Estos recipientes o macetas cuentan con 4 orificios en la parte inferior que tienen como función evitar la acumulación de agua en el sustrato. En cada una de las macetas se introdujeron 15 litros de fibra de coco expandida.

Los 14 recipientes, con la fibra de coco expandida, se colocaron sobre banquillos. Los orificios inferiores de cada maceta (parte del recipiente por donde escurre el agua en exceso) se dejaron libres de obstáculos y bajo ellos se colocaron otros recipientes con capacidad de 3 litros, que se utilizaron para recolectar y medir la cantidad exacta de agua de riego que se ha vertido sobre la planta y que no ha sido aprovechada por la misma, no se ha evaporado y/o no ha sido retenida por la fibra de coco; es decir, toda aquella agua en exceso que ha recorrido verticalmente la maceta. Es importante mencionar que en la práctica común, la recolección de agua se lleva a cabo mediante canaletas; sin embargo, en este experimento, el uso de canaletas no nos permitiría saber cuánta agua escurre exactamente de cada una de las macetas. En el APÉNDICE B Se encuentran imágenes donde se aprecia la colocación de las macetas.

Para la mezcla de fertilizantes se utilizaron recipientes limpios, del tipo 'cazuela', los cuales cuentan con la capacidad suficiente para contener el volumen de agua de riego necesario para todas las plantas. Esto asegura que la totalidad de las plantas reciban la misma solución. De lo contrario, en caso de realizar la mezcla de fertilizantes en recipientes separados, se correría el riesgo de diferir en las cantidades de fertilizantes agregados a la solución. Los fertilizantes agregados se midieron en báscula electrónica, graduada en gramos, y el suministro de agua se realizó con recipientes graduados en mililitros.

El área del experimento fue acondicionada para el análisis y se colocó plástico agrícola en el suelo para aislarla de variables externas al experimento (tal como la humedad del suelo). Como se mencionó anteriormente cada uno de los 14 recipientes utilizados como macetas contó con cuatro orificios en su parte inferior. Los orificios se elaboraron con broca de 1/16 de pulgada.

La expansión de la fibra de coco se realizó antes de su colocación en las macetas, ya que la fibra se encontraba de forma comprimida en ladrillos de 10 x15 x 8 cm. Considerando que, al humedecer tales ladrillos, la fibra se expande de manera diferente y sin control en cada uno de los ladrillos, por tal razón, se decidió realizar la expansión de forma manual antes de su colocación en las macetas, y así, controlar y asegurar, en la medida de lo posible, el mismo volumen de fibra de coco en cada recipiente.

El trasplante de las plantas de tomate Saladett se realizó el día 28/07/2016, para ello se realizó el siguiente procedimiento: 1. Extraer la planta de la charola; 2. Sumergir la planta en una solución con enraizador (para mejorar el crecimiento de las raíces de cada planta de tomate) y fungicida (para evitar la proliferación de hongos ('Previcur Energy de Bayer')); 3. Realizar un hueco en el sustrato de cada maceta para colocar la planta, y 4. Regar la planta con 100 mililitros de la misma solución en la que fue sumergida.

Después de 5 días del trasplante se realizó un riego de 100 mililitros con una concentración de 1g/l de '9-45-15 de PETERS'. Se realizaron riegos con intervalos de 5 días, cada uno de ellos aplicando 100 mililitros de agua a cada una de las plantas de ambas partes del experimento con la solución antes mencionada. A partir del quinto riego se aumentó la dosis de agua y se disminuyó el intervalo de tiempo entre cada uno de los riegos. La dosis aumentó a 150 mililitros de agua y el intervalo entre riegos disminuyó a dos días. En los riegos 12 y 13 se aplicaron

dosis de 200 mililitros. Para el riego 14 la dosis fue de 250 mililitros, y a partir de este riego, se disminuyó el intervalo entre riegos a cero días, es decir, el riego se realiza diariamente. En el APÉNDICE C se encuentra la lista de riegos aplicados en este experimento.

Las variables que se midieron en este experimento son: número de racimos con fruto, número de frutos, número de tallos con hojas formadas, longitud del tallo, grosor del tallo a 3 cm de la base, peso de los brotes podados y peso total de la planta con maceta; estos parámetros permitieron comparar los resultados de las mismas para cada grupo de plantas analizado en este experimento.

III.1.1 Selección del cultivo

La selección del cultivo para el experimento, se llevó a cabo mediante la comparación del rendimiento por superficie, y la importancia para el estado de Baja California (Tabla 1).

Tabla 1 Producción agrícola de los principales productos agrícolas del estado de Baja California.

PRODUCCION AGRICOLA Ciclo: Año Agrícola OI+PV 2014 Modalidad: Riego + Temporal Tomate rojo (Jitomate)						
Municipio	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
Ensenada	1,998.00	1,975.50	135,029.99	68.35	10,643.70	1,437,218.44
Rosarito	4	4	96	24	2,500.00	240
Tecate	9	9	423	47	7,000.00	2,961.00
Tijuana	2	2	60	30	3,500.00	210
Mexicali	9.5	8.5	132.06	15.54	3,954.23	522.2
PRODUCCION AGRICOLA Ciclo: Año Agrícola OI+PV 2014 Modalidad: Riego + Temporal fresa						
Municipio	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
Ensenada	2,273.30	2,273.30	145,768.62	64.12	18,618.75	2,714,029.70
PRODUCCION AGRICOLA Ciclo: Año Agrícola OI+PV 2014 Modalidad: Riego + Temporal Pepino						
Municipio	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
Ensenada	432.75	429.25	27,723.85	64.59	7,399.75	205,149.51
Tecate	3	3	120	40	7,500.00	900
Mexicali	3	3	71.6	23.87	3,823.46	273.76
PRODUCCION AGRICOLA Ciclo: Año Agrícola OI+PV 2014 Modalidad: Riego + Temporal Calabacita						
Municipio	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
Ensenada	516	502	11,841.54	23.59	4,848.01	57,407.85
Rosarito	6	6	54	9	2,766.67	149.4
Tecate	41	41	574	14	7,000.00	4,018.00
Tijuana	19	19	244	12.84	2,729.51	666
Mexicali	6	6	87	14.5	4,925.87	428.5

(Fuente: SIAP, 2014) (Precio medio rural (PMR))

Con base en la información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), se puede ver como los cultivos de fresa y tomate son los que tienen mayor valor de producción y mayor precio medio rural (PMR), sin embargo, el cultivo de tomate supera a la fresa en cuanto a rendimiento por superficie (68.35 Ton/Ha del tomate, contra 64.12 Ton/Ha de la fresa), esta

es la razón por la cual se seleccionó el cultivo de tomate para el desarrollo del experimento en esta investigación.

III.1.2 Materiales y equipos

Los materiales utilizados en el experimento se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 Materiales del experimento.

Material	Cantidad	Unidad	Precio	Precio total
Cubeta	14	Pza.	\$35.00	\$490.00
Contenedor 200 l	1	Pza.	\$300.00	\$300.00
Fibra de coco	250	litros	\$5.00	\$1,250.00
Probeta	1	Pza.	\$350.00	\$350.00
Planta de tomate	14	Pza.	\$16.00	\$224.00
Mesa porta macetas	14	Pza.	\$40.00	\$560.00
Recipientes recolectores	14	Pza.	\$10.00	\$140.00
Termómetro electrónico	1	Pza.	\$1,995.00	\$1,995.00
Tensiómetro 12"	1	Pza.	\$1,395	\$1,395.00
Normo goteros	14	Pza.	\$122.00	\$1,708.00
			TOTAL	\$8,412.00

III.2 Especificaciones del sistema de riego

III.2 .1 Dimensionamiento

Para dimensionar un sistema de riego se toman en cuenta dos puntos:

- 1) Diseño agronómico. Con base en factores de producción vegetal (clima, suelo, planta, etc.) permitirá conocer el caudal de agua necesario para cubrir las necesidades hídricas del cultivo.
- 2) Diseño hidráulico. Este debe garantizar una distribución óptima del caudal determinado en 1), a través de un dimensionado óptimo de la red de riego y de los elementos que la componen.

Además, considerando que el sistema de riego propuesto en este trabajo es del tipo hidropónico, se toman en cuenta las siguientes características: a) Número de emisores, y b) Gasto de los emisores.

Para conocer el número de emisores que requiere el sistema, es necesario conocer la superficie de cultivo. Para este proyecto, como ya se mencionó, se proyectará una superficie de riego de una hectárea (100 m x 100 m).

Para el sistema de riego se emplearán goteros auto-compensantes con gasto de 2.0 l/h (Regaber 2014). Con una separación entre surcos de 1.00 m de centro a centro (separación dentro del rango recomendado por Chemonics (2008)). Lo que indica que cada tubo portagotero estará separado por 1.00 m de distancia.

La separación entre cada planta se recomienda entre 30 y 45 cm (0.30m - 0.45m) (Chemonics, 2008). Por esa razón, para el diseño del sistema de riego se definió una separación de 40 cm de tallo a tallo (0.40m), lo que implica que la separación entre goteros sea de 40 cm (0.40m) también.

Considerando que la superficie de riego estará dividida en 4 sectores APENDICE A (planos) de 49 m x 47m, esto, con la finalidad de dejar un pasillo de 2 m que atravesase por el centro de la zona y un pasillo de 1 m en el perímetro, tenemos que el Numero de goteros es determinado por:

$$Ng = z * \frac{lr}{ss} * \frac{lp}{sp} \quad (1)$$

donde:

Ng = número de goteros.

z = zonas en que se divide la superficie.

lr = longitud de ramales (m)

ss = separación de surcos (m)

lp = longitud de porta goteros (m)

sp = separación entre plantas (m)

Sustituyendo la ecuación (1) anterior tenemos:

$$Ng = 4 * (49/1) * (47/.40)$$

$$Ng = 23,030$$

Para el gasto de diseño se utiliza $Ng = 23,030$ goteros, considerando que cada uno de estos goteros tendrá un gasto de 2 litros por hora (l/h), y se obtendrá un gasto de diseño de:

$$Qd = Qg * Ng \quad (2)$$

donde:

Qd = gasto de diseño (l/h)

Qg =gasto de gotero (l/h)

Ng = número de goteros.

Sustituyendo en la ecuación (2) tenemos:

$$Qd = 2 \left[\frac{1}{h} \right] (\text{gotero}) * 23,030 (\text{gotero}) = 46,060 \frac{1}{h} = 0.01287 m^3/s$$

Para calcular el diámetro de la tubería se considera el análisis del diámetro más económico, de la Formula de Bresse tomada de las Normas y Lineamientos Técnicos para las Instalaciones de Agua Potable, Agua Tratada, Alcantarillado Sanitario y Pluvial de los Fraccionamientos y Condominios de las Zonas Urbanas del Estado de Querétaro

$$D0 = 1.2Q^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

donde:

$D0$ = Diámetro interior del tubo (m)

Q = Gasto requerido (m³/s)

Sustituyendo en la ecuación (3) se tiene:

$$D0 = 1.2 (0.01287)^{\frac{1}{2}} = 0.136135227 \text{ m.}$$

El diámetro calculado es para la tubería principal. Sin embargo, como ya se mencionó, la superficie de riego estará dividida en 4 sectores, por lo que cada una de estas secciones tendrá la cuarta parte del gasto total de diseño y el diámetro para esas secciones será diferente al de la tubería principal. El cálculo requerido para lograr esta distribución se muestra a continuación.

$$D0 = 1.2 (0.0032175)^{\frac{1}{2}} = 0.068067613 \text{ m.}$$

Los diámetros más cercanos para la tubería principal y los cuatro ramales son: Diámetro principal igual a 6 pulgadas y diámetro de ramal igual a 3 pulgadas.

III.2 .2 Cálculo de las pérdidas en el sistema de riego

III.2 .2 .1 Pérdidas por fricción

Un fluido en movimiento presenta resistencia por fricción al fluir. Parte de la energía del sistema se convierte en energía térmica (calor), que se disipa a través de las paredes de la tubería por la que circula el fluido. La magnitud de la energía que se pierde depende de las propiedades del fluido, velocidad del flujo, tamaño de la tubería, acabado de la pared de la tubería y longitud de la misma (Mott, 2006). Para conocer las pérdidas por fricción en esta investigación se considera una longitud de la tubería principal de 114 metros.

Para determinar las pérdidas de energía por fricción en la conducción, entre otras ecuaciones, existen las de Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, y Manning. De las cuales, se recomienda utilizar la primera, por su carácter general y mejor modelación del fenómeno. (Martínez *et al* 2012)

La ecuación de Darcy-Weisbach tomada de la ficha técnica “*Líneas de Conducción por gravedad.*” de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) que expresa:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

donde:

f = Coeficiente de pérdidas; L = Longitud (m); D = diámetro interior del tubo (m); V = Velocidad media del flujo (m/s), y hf = Pérdida de energía por fricción (m).

El factor de fricción o coeficiente de resistencia de Darcy-Weisbach (f) es un parámetro adimensional que se utiliza para calcular la pérdida de carga en una tubería debido a la fricción.

El cálculo del factor de fricción y la influencia de dos parámetros (número de Reynolds, Re y rugosidad relativa, εr) depende del régimen de flujo en el que se encuentre.

El número de Reynolds es quizás uno de los números adimensionales más utilizados. La importancia radica en que nos habla del régimen con que fluye un fluido, lo que es fundamental para el estudio del mismo. (Torres, 2008).

Para saber en qué régimen se encuentra el flujo tenemos que aplicar siguiente formula:

$$R = \frac{\rho * v * D}{\mu} \quad (5)$$

R = número de Reynolds

ρ = densidad del fluido

v = velocidad promedio del fluido

D = diámetro del tubo

μ = viscosidad del fluido

La densidad del agua a 20 °C es 998.29 kg/m³ y su viscosidad a la misma temperatura es 0.0010 kg/m*s según Gráficos y Tablas Hidráulica Gral. y Aplicada C u r s o 2 0 1 0 de Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires

Teniendo esos datos solo nos falta la velocidad promedio del fluido que se calcula con la siguiente ecuación tomada del libro “Mecánica de fluidos” de Robert L. Mott.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

donde:

Q = gasto (m^3/s)

A = área (m^2)

El área para el tubo de 6 pulgadas es de 0.0086 m^2 y para el de 3 pulgadas 0.0036 m^2 .

Sustituyendo en la ecuación (6), considerando un diámetro de 6 pulgadas se tiene una $V_{6''} = 1.48 \text{ m/s}$, y para el diámetro de 3 pulgadas una $V_{3''} = 0.88 \text{ m/s}$.

A continuación, con base en los cálculos previamente mencionados se ha determinado el número de Reynolds (Re) para cada uno de los tramos. Si se considera un diámetro de 6 pulgadas, se genera un $Re_{6''} = 155'782,620.6$. Dado que el $Re_{6''} > 3,000$ se verifica que el flujo se encuentra en régimen turbulento y, por lo tanto, el factor de fricción se calcula con la ecuación de Swamee-Jain la desarrollaron P. K. Swamee y A . K. Jain. (Mott, 2006)

$$f = \frac{.25}{(\log(\frac{\epsilon}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}))^2} \quad (7)$$

Sustituyendo en la ecuación (7) tenemos:

$$f = 0.008096474$$

Con estos datos se procede a calcular las pérdidas con la ecuación de Darcy-Weisbach (Ecuación (4)).

$$hf = 0.98 \text{ m.}$$

Mientras que para la tubería de 3 pulgadas, el $Re_{3''} = 50'113,894.51$. Nuevamente, dado que el $Re_{6''} > 3,000$ se verifica que el flujo se encuentra en régimen turbulento y, por lo tanto, el

factor de fricción se calcula con la ecuación de Swamee-Jain (Ec. 7). En este caso, se genera un $f_3'' = 0.008884665$, y por consiguiente, las pérdidas calculadas mediante la ecuación de Darcy-Weisbach (Ec. 4) son $hf_3'' = 0.48$ m.

III.2 .2 .2 Pérdidas por accesorio

Para calcular las pérdidas locales de energía se utiliza la siguiente expresión extraída de (Mott, 2006):

$$hx = kx * \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

donde:

k = Coeficiente de pérdida que depende del accesorio que lo genera

g = Gravedad terrestre (9.81 m/s²)

V = Velocidad media del flujo (m)

En la Tabla 3 se muestra los accesorios para la tubería de 6 pulgadas y su correspondiente valor k .

Tabla 3 Coeficientes de perdidas locales k en accesorios de 6".

Accesorio	Número	k	hx (ec. 8)
Pichancha	1	1.7	0.191411498 m
Válvula bola	1	5.7	0.641791493 m
Te	4	2	0.225189998 m
Codo	2	0.75	0.084446249 m
Filtro de mallas	1	7.1	0.799424491 m

En la Tabla 4 se muestran los accesorios y su valor k para la tubería de 3 pulgadas.

Tabla 4 Coeficientes de perdidas locales k en accesorios de 3".

Accesorio	Numero	k	hx
Reducción 4-2	1	0.37	0.007138343 m
Válvula bola	1	6.5	0.12540332 m
Codo	1	0.57	0.010996907 m

Se calculó un presupuesto del costo de adquisición y suministro de los materiales necesarios para la construcción de un sistema de riego tradicional (APÉNDICE D), mismo que se comparó con el Presupuesto del costo del sistema de riego propuesto en el presente trabajo de investigación. Los resultados de este contraste serán discutidos más adelante.

III.3 Especificaciones del sistema de captación de lluvia

III.3.1 Tipo de invernadero

Un invernadero es una construcción agrícola con una cubierta traslúcida, que tiene por objetivo reproducir o simular condiciones climáticas adecuadas para el crecimiento y desarrollo de plantas de cultivo establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior. De las estructuras empleadas para proteger cultivos, los invernaderos permiten modificar y controlar de forma más eficiente los principales factores ambientales que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales (Juarez et al., 2011). El invernadero denominado Gótico, se diferencia del Multicapilla de techo curvo por tener naves de mayor anchura, poseer una cubierta curva ligeramente apuntada en su punto más alto, tener una mayor altura en cumbrera y por la posibilidad de ser equipado con ventilación cenital simple (a 1 vertiente) o doble (a las 2 vertientes).

El invernadero tipo Gótico se caracteriza por tener una ventila cenital tipo gótico, lo que permite albergar el mayor volumen de aire al interior, favoreciendo el ahorro energético. El diseño de la estructura acarrea una mejor ventilación, luminosidad, aprovechamiento de la radiación solar, y permite la evacuación de la condensación, disminuyendo así el riesgo de goteo sobre el cultivo, esto último, debido al desagüe de la condensación mediante los canalones. Adicionalmente, la estructura cuenta con ventilas laterales, que con una apropiada disposición, la temperatura en el interior del invernadero será la óptima para el desarrollo de los cultivos. La estructura es robusta, lo que permite el tutorado de la planta de tomate; es decir, la estructura permite colgar una guía o tutor de la parte superior del invernadero, para que la planta de tomate se sujete del tutor. Debido a que las plantas de tomate Saladett requieren de tutorado este tipo de invernadero es perfecto para el tipo de cultivo.

III.3.2 Dimensiones del invernadero

El invernadero cubrirá una superficie total de 11,613.00 m², distribuida en forma rectangular de 110.60 m de ancho por 105.00 m de largo.

La superficie útil de captación será de 10,560.00 m², debido a la construcción del invernadero que tiene paredes laterales de 2.5 m, las cuales no permiten la captación del agua de lluvia que es interceptada en ellas debido a la inclinación de 0.5: 1 que tienen.

El invernadero estará compuesto por 11 gabletes, cada uno de ellos con separación de 9.6 m; además, contarán con una altura de 5.95 m hasta la cresta con la cortina totalmente abierta. Las columnas principales tendrán una altura de 2.7 m y serán de acero galvanizado. En el APÉNDICE A se muestran los planos de la estructura del invernadero.

III.3.3 Materiales

En este capítulo se presenta información proporcionada por el portal “*infoagro*” sobre las características de los plásticos en la agricultura, específicamente los materiales de cubierta para invernaderos. El material de cubierta del invernadero es Polietileno (PE), es el plástico flexible más empleado hoy en día para cultivos en invernaderos, túneles y acolchado, debido, principalmente, a su bajo precio, a sus buenas propiedades mecánicas, y a la facilidad para incorporar aditivos que mejoran sus prestaciones de brillo, impresión y resistencia mecánica.

El PE es un derivado de la hulla y del petróleo, y se obtiene mediante la polimerización del etileno, utilizándose en su fabricación varios procesos y sistemas catalíticos. La mayor parte del PE para invernaderos se fabrica por el proceso de alta presión y catálisis de radicales libres mediante peróxidos.

Atendiendo a su densidad los PE se clasifican en: Baja densidad ($< 930 \text{ kg/m}^3$); Media densidad ($930 - 940 \text{ kg/m}^3$), y Alta densidad ($> 940 \text{ kg/m}^3$).

Para el cerramiento de invernaderos se utiliza sólo el de baja densidad (baja cristalinidad) y alto peso molecular (bajo índice de fluidez). Una de las características del PE es que su alargamiento en el punto de rotura es cercano al 500 %. Un material se considera degradado cuando su alargamiento se ha reducido en un 50 % de su valor inicial. El PE se degrada por la radiación UV y el oxígeno, por lo que la exposición permanente a la intemperie provoca su rotura al perder las propiedades mecánicas. Para evitar esto, es común añadir en el proceso de fabricación del PE diversas sustancias: a) Absorbentes de radiación UV; b) Secuestradores de radicales libres; c) Desactivadores (sales orgánicas de níquel), y d) Estabilizantes.

Así, existen dos grandes grupos de aditivos: 1. Aditivos de proceso: Destinados a evitar la degradación térmica durante la extrusión (antioxidantes) o para mejorar la procesabilidad del polímero, y 2. Aditivos de aplicación: Se añaden al polímero con el fin de obtener las cualidades deseadas: deslizantes, antibloqueo, estabilizantes frente a UV, aditivos térmicos, pigmentos.

El PE transparente tiene un poder absorbente de 5 al 30% en los espesores utilizados en agricultura; el poder de reflexión es de 10 al 14%; el poder de difusión es bajo. Según esto, la transparencia del PE está comprendida entre el 70-85%, es decir, dentro del recinto cubierto por el material plástico se percibe un 15-30% menos de luz, aproximadamente, que en el exterior.

El PE de baja densidad es el material plástico que menos resistencia tiene a la rotura. El de alta densidad tiene más resistencia que el PVC flexible, pero menos que el resto de los demás plásticos. Se desgarra con facilidad.

El PE es el material plástico que menos densidad tiene; es decir, es el que menos pesa por unidad de superficie a igualdad de grosor.

El PE no se oscurece como ocurre con el PVC y el poliéster. Debido a su gran transparencia, el PE transparente da lugar durante el día a un elevado calentamiento del aire y suelo del interior del invernadero.

En el mercado existen tres tipos de polietileno:

1. Polietileno Normal: Presenta muy poca opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo; es permeable en un 70% a las radiaciones de longitud de onda larga que emiten el suelo y las plantas. En el PE transparente normal se forma una lámina de agua, que aunque tiene inconvenientes para los cultivos, retiene un poco el calor que emiten las plantas y

el suelo durante la noche. Las láminas de PE normal, cuando se utilizan como cubierta de invernadero, si no lleva en su composición antioxidantes e inhibidores de rayos UV, la duración de éstos tipos de plásticos no excede de un año, reduciéndose a 10 meses cuando la luminosidad es muy fuerte y prolongada y las oscilaciones térmicas son considerables.

2. Polietileno Normal de larga duración: Este tipo de PE tiene características idénticas al PE normal, a excepción de su duración, que es bastante mayor, debido a los antioxidantes e inhibidores que lleva en su composición. La duración de este tipo de plástico es de 2 a 3 años, según la luminosidad y el régimen de viento al que se éste expuesta la lámina.
3. Polietileno Térmico de larga duración: El PE transparente térmico es un plástico que tiene la propiedad de dificultar mucho el paso de las radiaciones nocturnas (tiene una permeabilidad del 18% a las radiaciones longitud de onda larga en grosores de 800 galgas). Esto permite a los invernaderos cubiertos con este material que se anule casi en su totalidad la inversión térmica y que las temperaturas mínimas absolutas sean de unos 2 ó 3 °C más elevadas a las registradas en cubiertas de PE normal.

El PE transparente térmico, por los aditivos que se emplean en su fabricación, tienen un gran poder de difusión de la luz, que en algunas marcas comerciales puede llegar al 55% de la radiación luminosa que atraviesa la lámina de plástico; también, por la misma razón de los aditivos añadidos, tienen un buen efecto anti-goteo. La técnica de la coextrusión permite combinar propiedades que no pueden ser reunidas por un polímero único. Las propiedades más comunes son termicidad, estabilidad frente a las radiaciones UV, mejora de las propiedades mecánicas, anti-moho, anti-polvo (Infoagro, 2016).

III.4 Especificaciones del reservorio

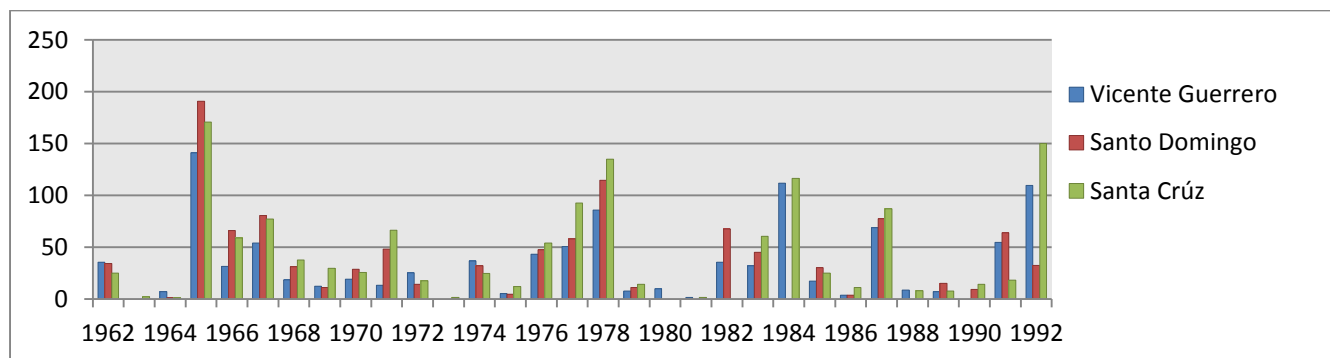
III.4.1 Precipitación en la zona

Para el análisis de la precipitación se utilizó información de la Cuenca Santo Domingo, en el Municipio de Ensenada, Baja California, México. Con base en información de la CONAGUA, en esta cuenca se ubican tres estaciones climatológicas, cuyos registros de precipitación han sido analizados con la finalidad de obtener el valor de la precipitación media anual (PMA).

ESTACIÓN: 2008 NOMBRE: COLONIA GUERRERO ESTADO: BAJA CALIFORNIA MUNICIPIO: ENSENADA LATITUD: 30.716 LONGITUD: -115.9833	ESTACIÓN : 02060 NOMBRE : SANTACRUZ ESTADO : BAJACALIFORNIA MUNICIPIO :ENSENADA LATITUD : 30.8786 LONGITUD : -115.6278	ESTACIÓN : 2064 NOMBRE : SANTO DOMINGO ESTADO : BAJA CALIFORNIA MUNICIPIO : ENSENADA LATITUD : 31.633 LONGITUD : -116.377
--	--	---

Cuadro 1 Estaciones aledañas a la zona de estudio.

Grafica 1 precipitación en la zona de estudio desde el año 1962 hasta 1992.



Las tablas 5, 6 y 7 muestran los datos completos para las estaciones Vicente Guerrero, Santo Domingo y Santa Cruz, respectivamente; cuyos datos faltantes han sido calculados mediante el método del U.S National Weather Service (WS) (Chow *et al.*, 1996), y representan un promedio generado con el inverso de la distancia al cuadrado como factor

ponderador, el racional deductivo (RD) propuesto por Campos (1998) basado en el porcentaje de participación que tiene el dato perdido sobre la variable mensual (Toro *et al*, 2015)

$$P_i = \frac{\sum P_i * W_i}{\sum W_i} \quad (9)$$

Donde:

P_i = precipitación observada para la fecha de la faltante, en las auxiliares circundantes (pueden ser como mínimo 2), en mm.

$$W_i = \frac{1}{D_i^2}. \quad (10)$$

Donde:

D_i = la distancia entre cada estación circundante y la estación faltante en km.

Los datos de precipitación fueron extraídos del ERIC III (Extractor Rápido de Información Climatológica) versión 3.2.

Tabla 5 Datos de precipitación de la estación Vicente Guerrero.

Vicente Guerrero												
año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1962	58.4	20	16.7	0	0	0	0	0	0	0	0	35.4
1963	7.9	25.3	17.8	1	0	0	0	0	97	1	42.6	0
1964	16.8	0	18.2	0	0	0	0	0	0	16.8	26	7
1965	27.5	30	39	55.9	0	0	0	0	1	0	46.9	141
1966	49.5	30.5	24.4	0	0.8	1.5	0	0	0	2	13.9	31.4
1967	19	0	9.5	13.7	0	0	0	0	3	0	44	54
1968	4.3	0	20.3	0	0	0	0	0	0	0	2	18.5
1969	53.7	45.2	17.7	1.3	0	0	0	0	0	0	21	12.2
1970	12.6	50	20	0	0	0	1.5	0	0	0	10	19
1971	2	26.2	0	18	0	0	0.3	0	0	2.5	3	13.2
1972	0	0	0	0	0	3	5	0	5.5	34.3	36.8	25.3
1973	19.3	33	46.5	1	0	2	0	3.5	0	1.5	11	0
1974	28.6	0	18.5	2	0	0	1.5	0	0.6	32	0	36.5
1975	4	2.5	39.1	32.3	0	0	0	0	3.5	0	13.4	5.1
1976	13	80.5	12.2	20.5	2.5	0	0	0	43	0	51	43.2
1977	25.8	3	13.5	0.3	29.3	1.8	0	29.5	13	5.5	3.5	50.5
1978	104	96.1	124	16.5	0	0	0.7	0	2.6	5.5	61.7	85.7
1979	182	9.5	61.9	0	0.2	0	0.5	0	0	0	7.9	7.7
1980	85.7	171	61.5	6.9	0	1	4.7	0	0	1.5	0.9	9.6
1981	6.9	4.7	63.8	3.5	0.5	0	0	0	25	0	15.4	1.5
1982	38.3	12.7	39.6	3	0	2	0	2.7	9	0	38	35.4
1983	43.9	83.6	111	19.4	0	0	0	5.1	9.8	3	28.5	32
1984	10.6	0	3.4	34	0	0	12.9	9.5	3.1	0	22.3	112
1985	16.9	28.5	6.6	0	0	0	1.3	0	5.5	10.7	63.4	17.2
1986	10.3	34.6	59.6	0	0	0	2.5	2.2	4.7	0.2	30.7	3.5
1987	18.8	43.2	16	5	0	1	0	0	0	21.7	45	68.7
1988	21.5	10.7	16.5	38.9	0	0	1.26	0	0	0	6	8.5
1989	23.8	8	19.7	0	0	0	0	0	4.6	15	0	7
1990	45.8	2	0.28	8.3	0	0	0	0	0	0	15.5	9.17
1991	0	0	85.5	0	0	0	0	0	4.5	14.1	0	54.6
1992	41.5	62.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110

Tabla 6 Datos de precipitación de la estación Santo Domingo.

Santo Domingo												
año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1962	57.5	20.3	17.1	0	0	0	0	0	0	0	0	34
1963	12.5	45.5	21	2.5	0	0	0	0.3	73.5	390	39.4	0
1964	9	1.8	2.6	0.8	0	0	0	0	0	2.5	27.6	1
1965	28	38	35	95	0	0	0	0	17	0	45.2	191
1966	72.5	35	15.5	0	0	5	3	0	0	10.5	13	66
1967	23.7	0	10	26	0	0	0	0	19	0	70.5	80.5
1968	2	1.5	28	16	0	0	0	0	0	0	9	31
1969	90	54	12	4.5	8	0	0	0	0	0	42	11
1970	2	60	55.5	0	0	0	3	3.2	0	0	16.5	28.5
1971	0.1	31	0	21.5	2	0	0	0	22	29.1	1.4	48
1972	0	0	0	0	1.5	2	4.5	0	4.5	47.5	40.9	14
1973	16.3	45.1	69.9	1	0	0.4	0	12.5	0	0	17.1	0
1974	53.9	0	25	0	0	0	4	0	0	35	0	32
1975	2.2	4.6	51.9	50.9	0	0	0	0	1.5	3.5	32.5	4.4
1976	5.5	110	9.9	26.5	0.5	0	0	3	54	0	29.5	47.5
1977	56	3.5	24.3	1.3	24	0	0	45.3	8.5	5.6	3.2	58
1978	135	117	206	14	0	0	9.3	0.8	5.5	4	94	115
1979	231	18	92.3	0.2	3.5	0	15.5	0	0	0	7	11
1980	145	315	55.4	9.4	0	0	9.5	1.5	0	1.5	0	0
1981	13	33	90.5	7.5	0	0	0	0	0	0	39.9	0
1982	59.3	33	66	4	0	1	0	9.5	27	0	88.3	67.4
1983	41.3	36.6	162	36	0	0	0	9	9.5	4.5	22.3	45
1984	6.5	0	0	32.3	0	0	9	13.5	3.5	0	22.7	112
1985	18	27.7	7.11	0.05	0	0	1.24	0.12	5.55	11.3	73.5	30
1986	16	25.3	64.8	0	0	0	4.5	3	18	0	38	3.5
1987	19.8	44.2	51.2	8.5	0	1.5	0	0	3.8	10	58.8	77.3
1988	24.7	10.4	16.8	41.4	0	0	0	1.09	1.71	0.2	5.7	8.48
1989	24.5	9	25	0	0	0	0	4	0	16.5	0	15
1990	24	0	0	20.8	0	0	0	0	0	0	0	9
1991	31	37.3	520	0	0	0	0	0	4.9	6.5	1.5	63.7
1992	40.9	154	11.1	0	0	0	0	0	0	0	0	32.3

Tabla 7 Datos de precipitación de la estación Santa Cruz.

Santa Cruz												
año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1962	41	25	25	0	0	0	0	9	0	0	0	25
1963	11	9.5	31	2.5	0	0	0	33	3	10	44	2
1964	15	1.5	36	3.5	0	0	14	0	0	12	43	1
1965	34	39	18	92	0	0	0	6	0	0	139	171
1966	53	55	22	0	0	5.5	4.5	6	3.6	85	38	59
1967	29	0	17	28	0	0	1.5	30	76	5.5	57	77
1968	0.4	6.9	55	9.5	0	0	3.8	5.5	0	0	7.5	38
1969	105	54	22	13	9.5	0	0	8.5	8.5	4.5	43	30
1970	3	85	70	2	0	0	12	19	0	0	23	26
1971	0	28	0.5	17	0	0	8.5	49	55	26	6	66
1972	0	0	0	0	2	0	5.5	6.5	1	82	39	18
1973	9.9	68	94	1	0	0	0	8.1	0	0	21	1.5
1974	75	0	47	0	0	0	106	0	5.1	43	5	25
1975	6.5	4.5	55	47	0	0	0.5	4	36	2	56	12
1976	15	210	21	80	2	0	34	2	82	19	25	54
1977	55	6	15	1.5	23	0	2.3	53	5	18	6	93
1978	171	153	185	9.5	0	0	0	18	3	13	122	135
1979	208	23	96	0	5	0	1.5	0	23	4	8	14
1980	90	330	104	12	2	0	13	13	0	0	1	0
1981	23	22	126	16	0.2	0	1	6	11	0	45	1.5
1982	76	55	90	8.5	14	0	8	51	47	0	65	54
1983	52	12	117	42	0	0	0	112	37	8	43	61
1984	6.5	0	0	34	0	0	145	25	13	0	31	116
1985	39	12	17	1	0	0	0	2.5	6.5	23	107	25
1986	34	39	71	0	0	0	10	10	19	12	50	11
1987	39	64	65	7	3	6	0	0	16	68	14	87
1988	86	5.5	22	89	0	0	36	22	35	4	0	8
1989	37	3	25	0	0	0	8	0	2.5	18	0.1	7.5
1990	60	0.8	8	3	2.5	3.5	0	6	0	0	9.5	14
1991	29	0	171	0.1	0	0	2.6	0	4.7	9.6	11	18
1992	29	116	6.5	0	1.6	0.1	0	37	9.1	16	7	150

La captación de lluvia para la agricultura se basa en la lluvia de diseño, que es la cantidad total de lluvia que ocurre durante el ciclo vegetativo del cultivo. El volumen de la lluvia de diseño sobre el área de captación proveerá la escurrimiento superficial necesaria para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos (Critchel, 1996). A pesar de que la siembra y cosecha del tomate Saladett ocurre en dos temporadas al año, la temporada temprana de Febrero a Junio y la temporada tardía de Agosto a Diciembre, en esta investigación, la etapa del experimento sobre la siembra y cosecha de tal cultivo, se realizará durante los meses de Agosto a Diciembre. De tal manera que, el promedio de lluvia a considerar correspondiente a dichos meses es de 19.76 mm. Sin embargo, teniendo en cuenta que la estructura estará fija todo el año, y puede captar agua y almacenarla para su posterior aprovechamiento, se tomará en cuenta la precipitación anual. Por esta razón, y con base en el registro de las 3 estaciones, se genera una PMA de 241.86 mm.

III.4.2 Volumen de agua que se puede captar

La captación de agua de lluvia proveniente de techos de viviendas, establos, invernaderos y otras construcciones que existen, debe destinarse prioritariamente al consumo humano y utilización doméstica, por sus buenas características de calidad, normalmente mejor que el agua captada en otras estructuras (Brito et al., 2007).

Una etapa importante de los proyectos de captación de agua de lluvia para su aprovechamiento posterior es la estimación correcta de las dimensiones del sistema, el cual debe estar en conformidad con la lluvia local, las necesidades de uso y la relación que debe existir entre los componentes de captación y almacenamiento. Si el área de captación o la estructura de almacenamiento, o ambos, no están diseñados adecuadamente, puede que

sobre agua captada sin almacenar o que falte agua para llenar la estructura. Una vez establecidas las necesidades de consumo de agua y el volumen requerido para las diferentes finalidades, se puede calcular el área de techo o de superficie impermeable que se necesita y el tamaño de la estructura de almacenamiento, según lo demuestra Moura (2007) por medio de la relación:

$$Ac = \frac{VT}{C * Pm} \quad (11)$$

donde:

Ac = Área de captación (m^2)

VT = Volumen total de la estructura (l)

C = Coeficiente de escorrentía

Pm = Precipitación promedio anual (mm)

El coeficiente de escorrentía para polietileno es de 0.90 (Collet, 2016).

Para el cálculo del volumen de agua de lluvia que podría captarse, se debe considerar un área de captación de 10,560.00 m^2 , una PMA de 241.86 mm, y la expresión siguiente:

$$VT = C * Pm * Ac \quad (12)$$

Sustituyendo en la ecuación (12) tenemos:

$$VT = 0.90 * 241.86 * 10,560.00 = 2'298,637.44 \text{ litros} = 2,298.64 m^3$$

Esto es el volumen potencial medio anual de agua de lluvia que podría captarse en la zona de estudio.

III.4.2.1 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

Los reservorios pueden construirse para almacenar aguas de escorrentía provenientes de quebradas y ríos, o para capturar aguas llovidas, lo que se puede definir como cosecha de agua de lluvia.

En ese sentido, Nasr (1999) define la cosecha de agua como “la recolección del agua de escorrentía para su uso productivo”, mientras que, de acuerdo con la FAO (2000), la captación de agua de lluvia está definida como “la recolección de escorrentía superficial para su uso productivo, y que puede lograrse de las superficies de tejados, así como de corrientes de agua intermitentes o efímeras”.

Sin embargo, el agua captada proveniente de la lluvia se tiene que almacenar en algún tipo de contenedor o estanque, y ya que el área de captación es considerablemente grande se tiene que tomar en cuenta el tipo de almacenamiento que se utilizará y los materiales con los que se construirá.

III.4.2.2 Tipo de reservorio

Reservorio Estanque: este tipo de reservorio es muy similar al excavado, con la diferencia que el nivel del agua se puede llevar por encima del suelo, mediante la construcción de paredes, principalmente de concreto. Se recomienda para zonas donde otros materiales de construcción no se encuentren disponibles. Cuando los suelos no son arcillosos, el piso se puede revestir con concreto, plástico o geo-membrana de PVC. Para evitar las filtraciones de agua por el fondo y taludes, es recomendable compactar el área de reservorio y proteger con polietileno (Perotti, 2004).

Debido a que en la zona de estudio el terreno es arcilloso, el reservorio será construido con muros de material extraído del mismo terreno. Las paredes del reservorio tendrán una altura de 2.6 m y taludes 1:1, dejando el 30% de esta como bordo de seguridad. El reservorio tendrá una longitud de 20 m y un ancho de 20 m; estará recubierto con una geomembrana de polietileno para conservar el agua y podrá almacenar 755.04 m³ de agua, suficiente para mantener irrigada la superficie cultivo durante 17 días. La capacidad del reservorio puede almacenar la mitad del agua del mes más lluvioso ocurrido en la zona de estudio (141 mm en Diciembre de 1965). Sin embargo, ese mes se considera un evento extraordinario, ya que solo se ha presentado una sola vez en todo el registro. Por otro lado, en general, los meses más lluviosos presentan en promedio una precipitación de 32 mm, de tal manera que, el volumen de almacenamiento considerado es suficiente para almacenar el agua precipitada durante 3 de estos meses continuos.

IV. Resultados

IV.1 Resultados del experimento

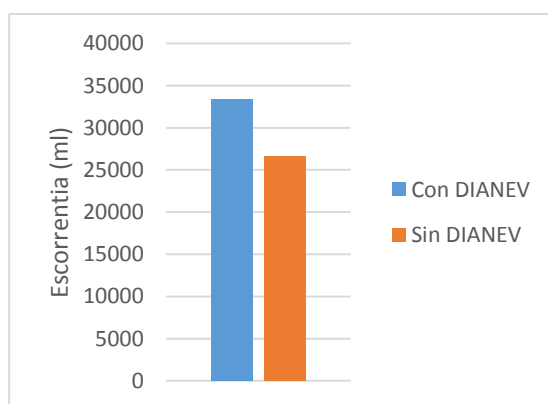
El experimento tuvo una duración de 108 días, contados a partir del primer riego aplicado a las plantas, a lo largo de los cuales se recabó información sobre las plantas con y sin DIANEV. Los datos generados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8 Resumen de los resultados del experimento.

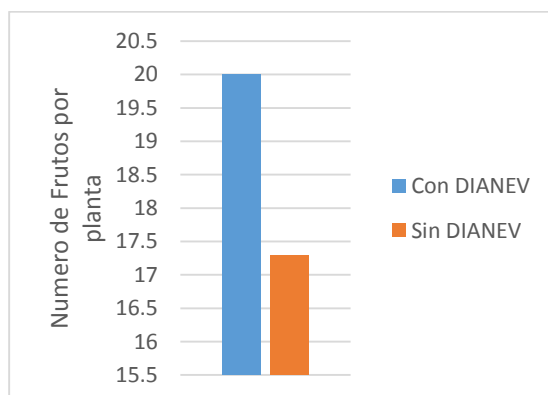
Parámetro	Plantas con DIANEV	Plantas sin DIANEV
Escorrentía [ml]	33,409.38	26,637.59
Número de frutos	20.00	17.29
Peso de los frutos	22.30 g	21.60 g
Peso de las hojas podadas	352 g	243 g
Peso de la cosecha	446.00 g	373.54 g

La información recabada se encuentra en el APÉNDICE E. Mediante un análisis de los datos del registro se puede observar que, la escorrentía en las plantas con el DIANEV aumentó un 25.4 % (Grafica 2) con respecto a las plantas de control que no contaban con el dispositivo. Este porcentaje de agua escurrida se puede interpretar como un ahorro directo de agua. Por lo tanto, hasta este punto la hipótesis en la que se basó esta investigación es correcta. Sin embargo, no solo hubo mayor escurrimiento en las plantas con el DIANEV, sino que, además, otros parámetros medidos también resultaron con una mejora considerable. Tales como: a) el número de frutos aumentó un 15.7 % (Grafica 3); b) el peso de los frutos aumentó en un 3.2 % (Grafica 4), y c) el peso de la cosecha se incrementó un 19.4 % (Grafica 6).

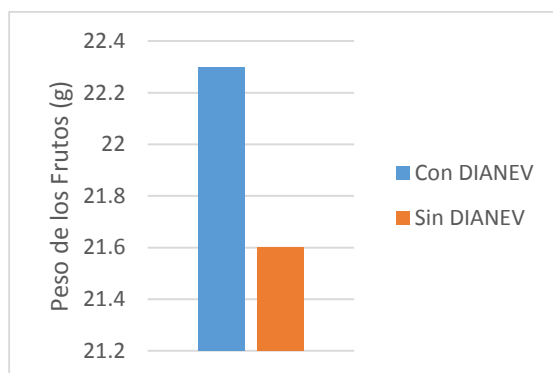
Grafica 2 Esorrentía de las macetas del experimento.



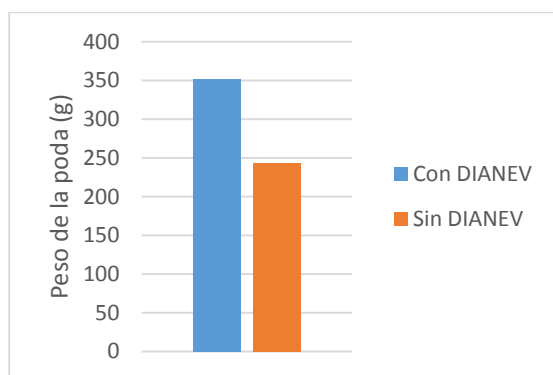
Grafica 3 Numero de frutos cortados por planta.



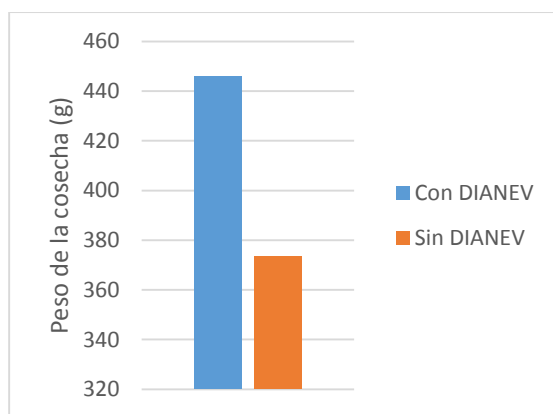
Grafica 4 Peso promedio de los frutos cortados.



Grafica 5 Peso promedio de las hojas podadas.



Grafica 6 Peso promediado del total de frutos cortados por planta.



IV.2 Aplicación de los resultados

Con base en los resultados del experimento, se sabe que las plantas que utilizan el DIANEV consumirán hasta un 25.4 % menos de agua. A continuación, de forma similar a la que se ha utilizado para diseñar el sistema de riego expuesto en el capítulo III.2 de este documento, se procede con el diseño de un nuevo sistema de riego. En esta ocasión, para el diseño se considerará un(a) ahorro (reducción) del 25.4% del volumen de agua, y se empleará un accesorio en cada uno de los goteros, el cual distribuya el gasto del gotero en 4 plantas. Por esta razón, se utilizará la cuarta parte de los goteros considerados en el diseño sistema de riego anterior.

IV.2 .1 Dimensionamiento

Debido a el ahorro del 25% del agua en las plantas se podría utilizar un gotero con gasto menor al de 2l/h, pero en el mercado no se ofrece alguno menor por lo que se utilizara un accesorio que reparte el agua que sale del gotero con gasto 2l/h en 4 partes iguales, permitiendo así regar 4 plantas con un solo gotero. Por lo que el número de goteros será la cuarta parte de los goteros que se utilizaron para dimensionar el tradicional.

$$Ng = 5791$$

Considerando que se utilizarán 5,791 goteros, y que cada uno de ellos tiene un gasto de 2 l/h, el gasto de diseño será:

$$Qd = 11,582 \text{ l/h} = 0.0032175 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del diámetro de la tubería

Para el cálculo del diámetro más económico, se emplea la fórmula de Bresse (ecuación (3)):

$$D0_p = 1.2 (0.0032175)^{1/2} = 0.068 \text{ m.}$$

El diámetro calculado es para la tubería principal. Sin embargo, como ya se mencionó, la superficie de riego estará dividida en 4 sectores por lo que cada una de estas secciones tendrá la cuarta parte del gasto total de diseño y el diámetro para esas secciones será diferente al de la tubería principal, del cual se muestra el cálculo a continuación.

$$D0_R = 1.2 (0.000804)^{1/2} = 0.034 \text{ m.}$$

Los diámetros más cercanos para la tubería principal y los cuatro ramales son: Diámetro principal de 3", y diámetro de ramal de 1 1/4".

IV.2 .2 Cálculo de las pérdidas en el sistema de riego

IV.2 .2 .1 Pérdidas por fricción

Considerando una longitud de la tubería principal de 114 m, y sustituyendo en la fórmula de velocidad (ecuación (3)), Para el diámetro de 3" se obtiene una $V = 0.615243935 \text{ m/s}$.

Mientras que, para el diámetro de 1 1/4", la $V = 0.676812646 \text{ m/s}$.

Tabla 9 Datos para las tuberías principales.

Para la tubería de 3 pulgadas	Para la tubería de 1 1/4 pulgadas.
$R = 50113894.51$	$R = 26280808.43$
$f = 0.008884665.$	$f = 0.0120032$
$hf = 0.239470183\text{m.}$	$hf = 1.673881318 \text{ m.}$

IV.2 .2 .2 Pérdidas por accesorio

En la Tabla 10 se muestra los accesorios y su valor k para la tubería de 3 pulgadas.

Tabla 10 Coeficientes de perdidas locales k en accesorios de 3".

Accesorio	Numero	k	hx (m); (ec.8)
Pichancha	1	8.00	0.090
Válvula bola	1	6.10	0.302
Te	4	2.00	0.424
Codo	2	0.75	0.080
Filtro de mallas	1	7.10	0.376

En la Tabla 11 se muestra los accesorios y su valor k para la tubería de 1 1/4 pulgadas.

Tabla 11 Coeficientes de perdidas locales k en accesorios de 1 1/4".

Accesorio	Numero	k	hx
Reducción 3-1 1/4	1	0.37	0.014825303 m
válvula bola	1	0.07	0.260444518 m
codo	1	0.57	0.022838981 m

V. Discusión

V.1 Discusión de resultados

Se realizó el modelado del sistema de riego en el programa EPANET, el cual es un software que modela sistemas de tuberías de distribución de agua. Los resultados de la simulación demuestran que el diseño propuesto tiene un buen desempeño en cuanto a presión y velocidad en el sistema. La presión se encuentra entre los 5 y 35 PSI para que los goteros utilizados en el sistema de riego trabajen de manera correcta suministrando el gasto de agua deseado, ya que, si la presión sale de este rango los goteros no suministrarán el agua de manera correcta. Y la velocidad entre 0.30 m/s y 5.0 m/s que son las velocidades máximas y mínimas permisibles en tuberías de PVC, según las normas técnicas para sistemas de agua potable y alcantarillado

sanitario publicadas por la Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano del Estado de Baja California (SIDUE BC). Los resultados de la simulación se encuentran en el APÉNDICE F.

El costo de los materiales necesarios para la construcción del sistema de riego eficiente diseñado es de MX \$1'229,325.11. Este, es MX \$72,915.73 más barato que el sistema que no utiliza el DIANEV. El desglose del costo de los materiales se encuentra en el APÉNDICE D

Los resultados del experimento indican un ahorro de hasta un 25.4 % de agua por planta cultivada. Siendo esta el agua que se evapora del sustrato, cuando no existe ningún elemento que retenga ese vapor de agua. Si se calcula el costo total del agua utilizada en una temporada para 23,000 plantas de tomate, considerando como precio del agua los expuestos en la Ley de Ingresos del Estado de Baja California 2016 (Periódico oficial del estado de Baja California, 2015) para Uso comercial, industrial, gubernamental y otros no domésticos, y el consumo de 2.8 litros por planta al día, durante 150 días, se obtiene MX \$702,086.55 Por lo que al utilizar el sistema de riego mejorado se ahorran MX \$175,304.85 solo evitando la evaporación. Mientras que, el beneficio de aprovechar el agua de lluvia captada mediante el invernadero es de MX \$166,858.28. El ahorro es de 48.73% en el costo del agua. El cálculo del costo del agua se encuentra en la Tabla 12.

Tabla 12 *Calculo del costo del agua utilizada.*

Consumo	Tarifa	Volumen (m ³)	Costo
1).- De 0 hasta 5 m ³ , cuota mínima	\$380.12	5	\$1,900.60
2).- Por el excedente de 5 y hasta 10 m ³	\$33.57	5	\$167.85
3).- Por el excedente de 10 y hasta 15 m ³	\$45.93	5	\$229.65
4).- Por el excedente de 15 y hasta 20 m ³	\$54.11	5	\$270.55
5).- Por el excedente de 20 y hasta 30 m ³	\$63.50	10	\$635.00
6).- Por el excedente de 30 y hasta 40 m ³	\$64.68	10	\$646.80
7).- Por el excedente de 40 y hasta 50 m ³	\$67.93	10	\$679.30
8).- Por el excedente de 50 y hasta 60 m ³	\$69.28	10	\$692.80
9).- Por el excedente de 60 y hasta 10,000 m ³	\$72.59	9600	\$696,864.00
		Total	\$702,086.55

El ahorro total de la utilización del sistema de riego eficiente en lugar del convencional es de MX \$415,078.86; el cual, se ha generado mediante la suma del ahorro en materiales, más el ahorro en el consumo de agua (evitando la evaporación) y el ahorro en el gasto de agua (utilizando el agua de lluvia).

Sin embargo, según el SIAP el rendimiento por hectárea para el tomate en Ensenada, Baja California, es de 68.5 toneladas por hectárea. Cada tonelada se vendió en 2014 en MX \$ 10,643.7 el dinero obtenido por hectárea fue de MX \$ 729,093.45, al utilizar el sistema de riego mejorado se podría producir 81.8 toneladas por hectárea, al precio del 2014 se obtendrían MX \$ 870,683.39, MX \$ 141,589.94 (19.42%) más que con el sistema de riego común.

Por otra parte, utilizar el acolchado plástico para reducir la evaporación en los surcos, genera alrededor de 570 kg de desechos plásticos por hectárea, mientras que al utilizar el DIANEV y macetas solo genera solo 102 kg de desechos plásticos por hectárea, por lo que la utilización del DIANEV reduce en un 82.11 % la generación de residuos plásticos por hectárea.

VI. Conclusión

- Los resultados de este trabajo corroboran que la hipótesis planteada: “evitando las pérdidas por evaporación generada en las macetas donde se cultiva el tomate Saladett, se ahorra un porcentaje de agua”, es correcta. El empleo del DIANEV reflejó un ahorro de hasta el 25% del volumen de agua requerida para el riego de plantas de tomate Saladett. Esto, contribuye significativamente al manejo sustentable del recurso hídrico en la zona.
- Con base en los resultados de este experimento se diseñó un sistema de riego eficiente. El cual incluye el uso de un DIANEV por planta cultivada, así como un volumen de agua de lluvia captada con los invernaderos y un presupuesto menor que aquel tradicionalmente empleado en la zona de estudio. Lo que resulta en un ahorro del 48.73% en el costo del agua para el riego.
- Por otra parte, el costo de suministro y habilitación del sistema de riego mejorado (MX \$ 1'229,325.00), tal como el diseñado en este trabajo, es hasta 6% más económico que el de un sistema de riego convencional (MX \$ 1'302,241.00).
- La utilización del DIANEV contribuye a reducir la contaminación ambiental, dado que disminuye hasta en un 82.11 % los desechos plásticos generados por cosecha.
- Los resultados obtenidos en este trabajo indican que el uso del DIANEV contribuye al incremento del rendimiento en las plantaciones de tomate en un 19.42 %, en contraste, con las plantaciones que no utilizan este dispositivo.
- Los resultados de este trabajo proponen un dispositivo anti-evaporación (DIANEV) y un sistema de riego eficiente, que se ponen a disposición de productores agrícolas y todo aquel interesado en hacer un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos a su alcance y obtener un mayor rendimiento en sus cosechas.

Bibliografía

- Aidarov I, Golovanor A, Mamaev M. 1985. El Riego.
- Ana M. Toro, Ramón A., Mario A. Vázquez P., Laura A. Ibáñez C. 2015. Relleno de series diarias de precipitación, temperatura mínima, máxima de la región norte del Urabá Antioqueño. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.
- Brito. Luiza T. L.; Moura, Magna S. B. de; Gama, Gislene F. B. 2007. Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro. EMBRAPA Semiárido, Petrolina.
- Caldeyro-Stajano. 2006. La Hidroponía Simplificada como Tecnología Apropriada, para implementar la Seguridad Alimentaria en la Agricultura Urbana. Cuadernos del CEAgro.
- Campos. 1998. Procesos del ciclo hidrológico. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP).
- CHEMONICS, I. 2008. Manual del Cultivo de Tomate, Programa de Diversificación Hortícola, Nicaragua
- Chow, V. T.; Maidment, D. R. y Mays, L. W. 1996. Hidrología aplicada. McGraw Hill.
- Collet. 2016. Recuperacion de las aguas de lluvia [en línea]. México [fecha de consulta: 28 de mayo de 2016]. <http://slideplayer.es/slide/2980682/>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2014. Estadísticas del Agua en México edición 2014. Subdirección General de Administración del Agua
- CONAGUA. 2010. Subdirección General de Administración del Agua.
- Cun-Gonzalez, R, Puig-Estrada, O, Morales-Gomez, C, Duarte. 2010. Evaluación de la uniformidad del riego por goteo en condiciones de cultivos protegidos. Congreso Científico del INCA.
- Enriquez García, R, Benavides Benavides, O, Legarda Burbano. 1995. Evaluación del sistema de riego con vasijas de barro y comparación con los sistemas de riego por goteo y microaspersión en el cultivo de la lechuga. Revista de Ciencias Agrícolas.
- ERIC III (Extractor Rápido de Información Climatológica) versión 3.2.
- Fandiño, CN 2009. INVATAM Ltda: una industria del sector curtidor que trabaja por el ahorro y uso eficiente del agua. Producción Más Limpia, vol. 4.

- Food and Agriculture Organization (FAO). 2000. Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas N° 13. Santiago, Chile: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2004. El Estado mundial de agricultura y la alimentación 2003-2004. La biotecnología agrícola: Una respuesta a las necesidades de los pobres?
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2013. CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe.
- Fuentes, MG 2011, Cosecha de lluvia. Entrepreneur Mexico. vol. 19.
- García Guerra, S, & Pérez Lima, J. 2004. Resultados de la introducción del riego por goteo en la cooperativa de producción agropecuaria cañera Primer Soviet de América. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.
- Giese, J. 2015. LA AGRICULTURA EN LA ERA DE INTERNET. Productores de Hortalizas, vol. 24,
- Iersel, MV, Burnett, S, & Lea-Cox, J. 2015. RIEGO DE PRECISIÓN. Productores de Hortalizas,
- Infoagro. 2016. Los plásticos en la agricultura. Materiales de cubierta para invernaderos. . (apartados del 3.2.4. al 3.3.2.)
- Kalergis P. 2000. Comparacion técnico económico de los sistemas de riego por surco y goteo en la producción de tomate industrial.
- Lima, 2005. GUÍAS PARA EL DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA POTABLE.
- Lorenzo, EV, Ocaña, JL, Fernández, LA, & Venta, MB. 2009. Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. Revista CENIC Ciencias Biologicas, vol. 40.
- Manco Silva, D, Guerrero Erazo, J, & Ocampo Cruz, A 2012. EFICIENCIA EN EL CONSUMO DE AGUA DE USO RESIDENCIAL. Revista Ingenierías Universidad De Medellin.

- Mario R. Martínez, Demetrio Fernández, Ricardo Castillo, Daisy Uribe. 2012. Líneas de Conducción por gravedad. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- MOURA, L.T.de L.; GAMA, G.F.B. 2007. POTENCIALIDADES DA ÁGUA DE CHUVA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. Petrolina: Embrapa semiárido.
- Nasr. M. 1999. Assessing Desertification and Water Harvesting in the Middle East and North Africa: Policy Implications. ZEF – Discussion Paper on Development Policy Bonn, Germany.
- Perotti L. 2004. Construcción de un reservorio de agua. Proyecto de mejoramiento de Poroto Pallar en fincas de pequeños productores de los valles Calchaquíes de Salta, Proyecto de Investigación Adaptativa PROINDER, Estación Experimental Salta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.
- Porfirio Juárez López, Rubén Bugarín Montoya, Rogelio Castro Brindis, Ana Luisa Sánchez-Monteón, Elia Cruz-Crespo, Cecilia Rocío Juárez Rosete, Gelacio Alejo Santiago, Rosendo Balois Morales. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. Revista Fuente.
- Regaber. 2014. TARIFA DE PRECIOS REGABER JARDINERÍA 2014
- Reyes-Vidal, Diez, Martínez-Silva, A, & Asaff, A. 2012. Investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el cuidado y reuso del agua. Estudios Sociales: Revista de Investigación Científica, no. 2.
- Robert L. Mott. 2006. Mecánica de fluidos Sexta edición.
- Roger Agüero . 2004. GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIOS APOYADOS. Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Salazar-Moreno, R., Rojano-Aguilar, A. & López-Cruz, I.L. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. Tecnología y Ciencias del Agua. Vol. V, núm. 2, , pp. 177-183
- SEFOA. 2013. Resumen de precipitaciones en la zona costa, 2012. Sistema de Información para el Manejo de Agua de Riego en Baja California (SIMARBC)

- SEFOA. 2015. Panorama general de “zona San Quintín” Baja California 2015. Dirección de planeación sectorial y seguimiento a la inversión pública oficina estatal de información para el desarrollo rural sustentable.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do;jsessionid=83EF5030CC397D79D1D61B8B8CA68B20
- Stephany Valencia Ortiz. 2016. Diseñar un sistema de riego para el cultivo de frutales en el área de ladera de la finca bella vista, en la vereda Agua Blanca del municipio de Santander de Quilichao. Tesis de maestría.
- Torres. 2008. Número Reynolds. Laboratorio de Operaciones Unitarias. Universidad Iberoamericana.
- Velitchko G. Tzatchkov, M. I. Ignacio A. Caldiño Villagómez, 2007. Comisión Nacional del Agua MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO REDES DE DISTRIBUCIÓN.
- Will Critchley, Siegert, Klaus. 1996. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo I: Bases Técnicas y Experiencias en África y Asia.

APÉNDICE A

Planta general del sistema de riego, el invernadero y el reservorio.

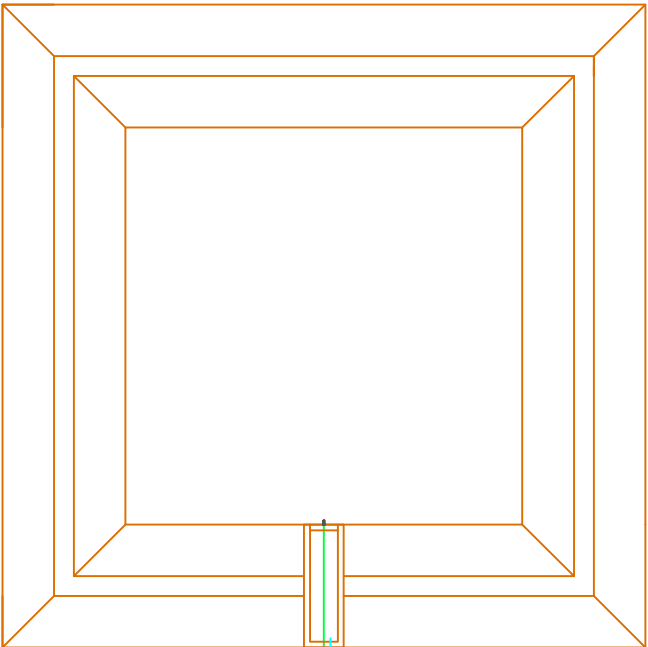
Válvula bola	
Valvula expulsora de aire	
Pichancha	
Gotero	
Bomba	
Cimiento	
Sistema de riego	
Sistema de captación de lluvia	
Sistema de recirculación	
Invernadero	
Reservoreo	
Escala 1:400	

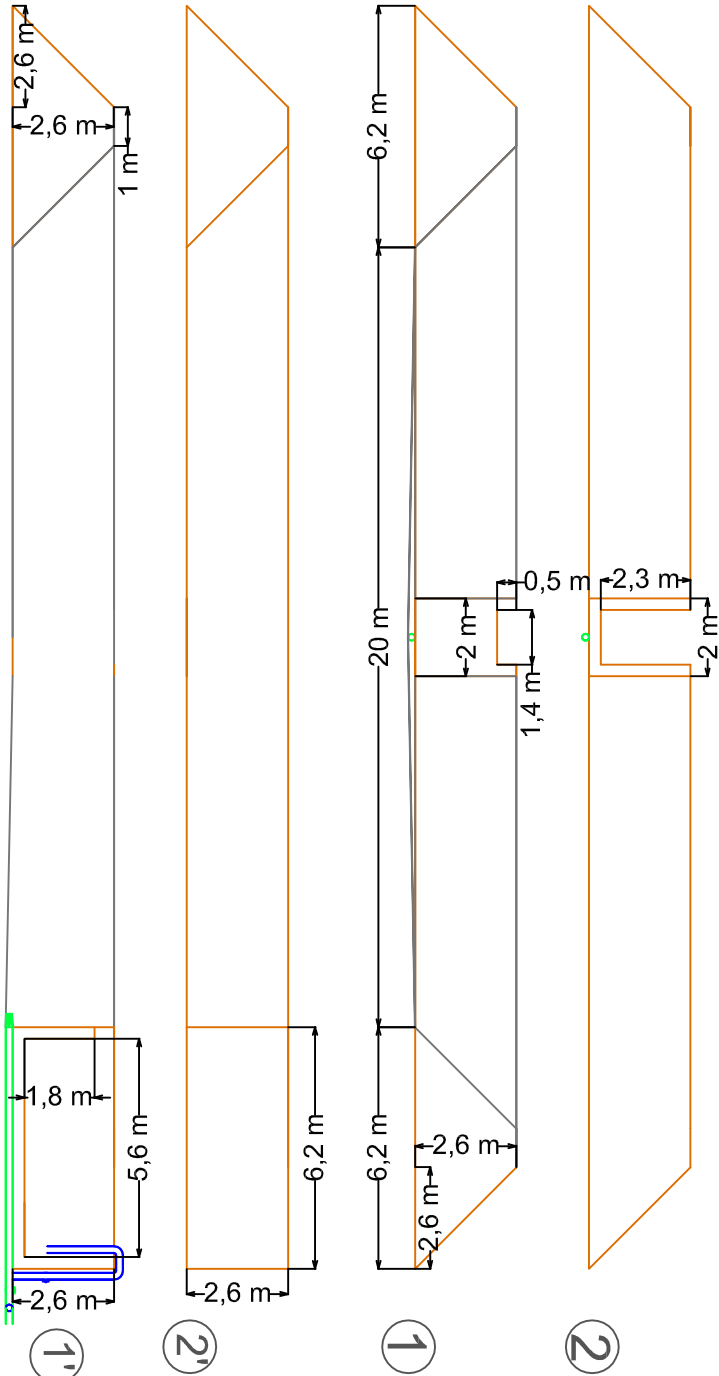
Sección 1

Sección 2

Sección 3

Sección 4





APÉNDICE A

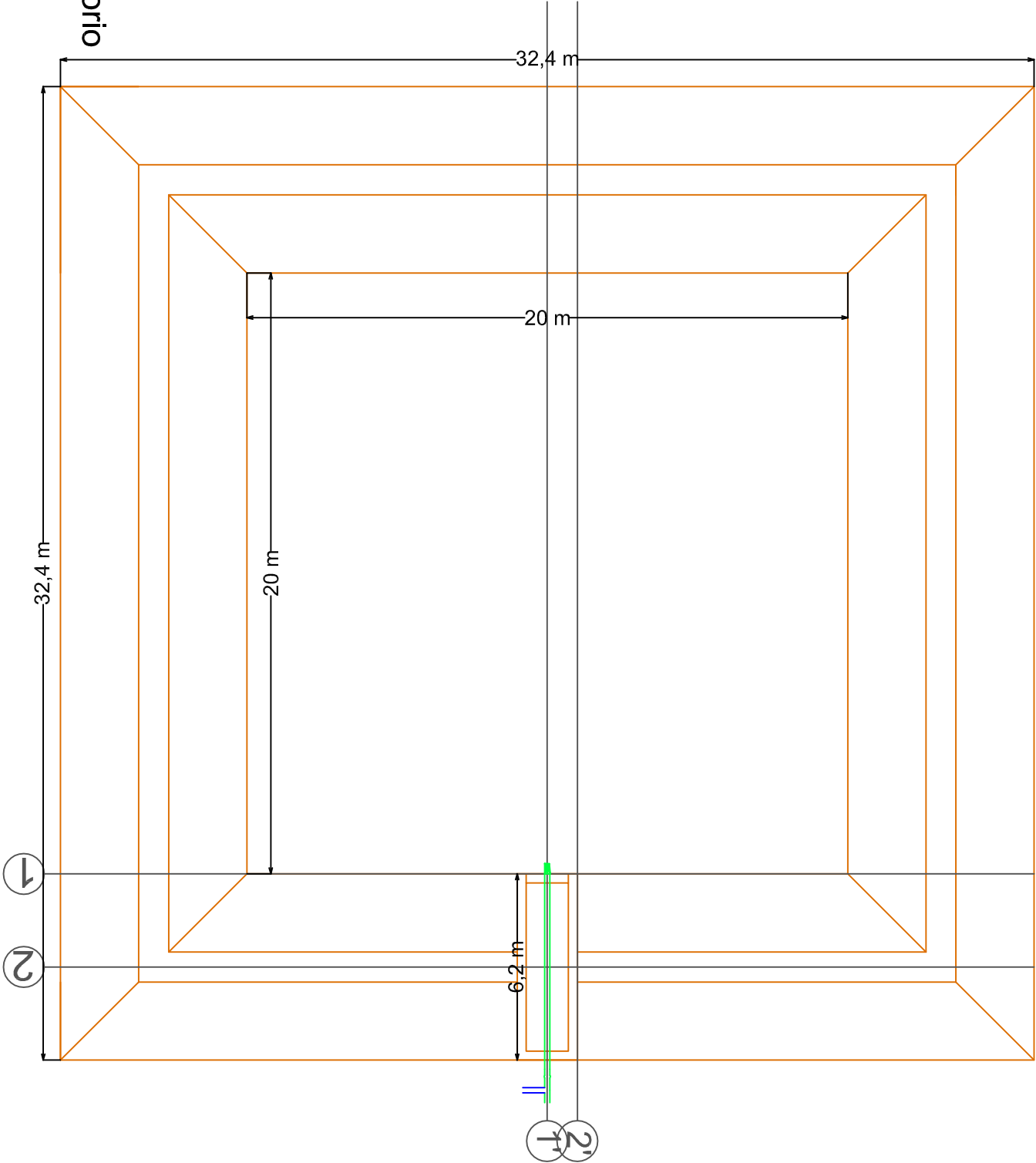
Planta y ejes del reservorio.

Eje 1: Este eje atraviesa a lo largo de la base de una de las paredes del reservorio y corta dos de las paredes mostrando la forma que tienen estas.

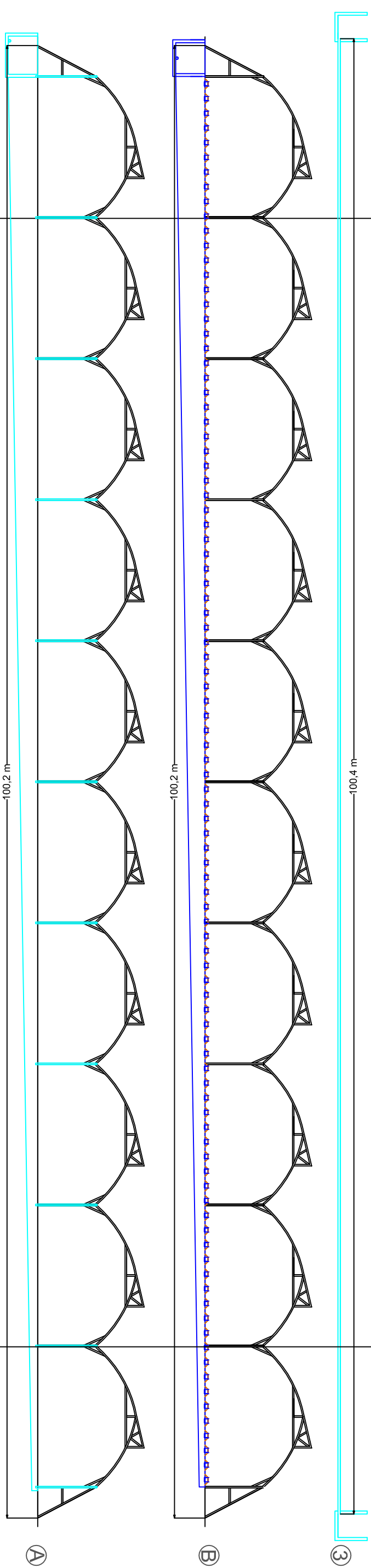
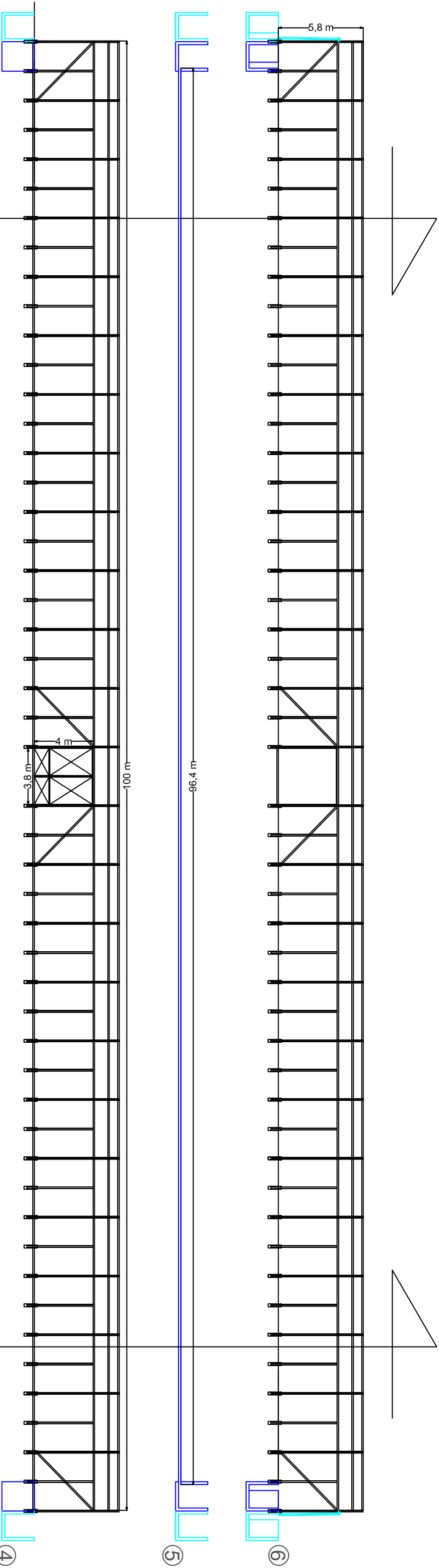
Eje 2: Este eje atraviesa a lo largo del centro de una de las paredes del reservorio y corta el tanque de reducción de velocidad para el llenado del reservorio mostrando la forma que tienen este.

Eje 1': Este eje atraviesa a lo largo del centro del estanque reductor de velocidad muestra la forma de este y las medidas del vertedor.

Eje 2': Este eje atraviesa a lo largo de una de las paredes del tanque de reducción de velocidad para el llenado del reservorio mostrando la forma que tienen este.



Sistema de riego	
Sistema de recirculación	
Invernadero	
Reservoreo	
Escala 1:200	



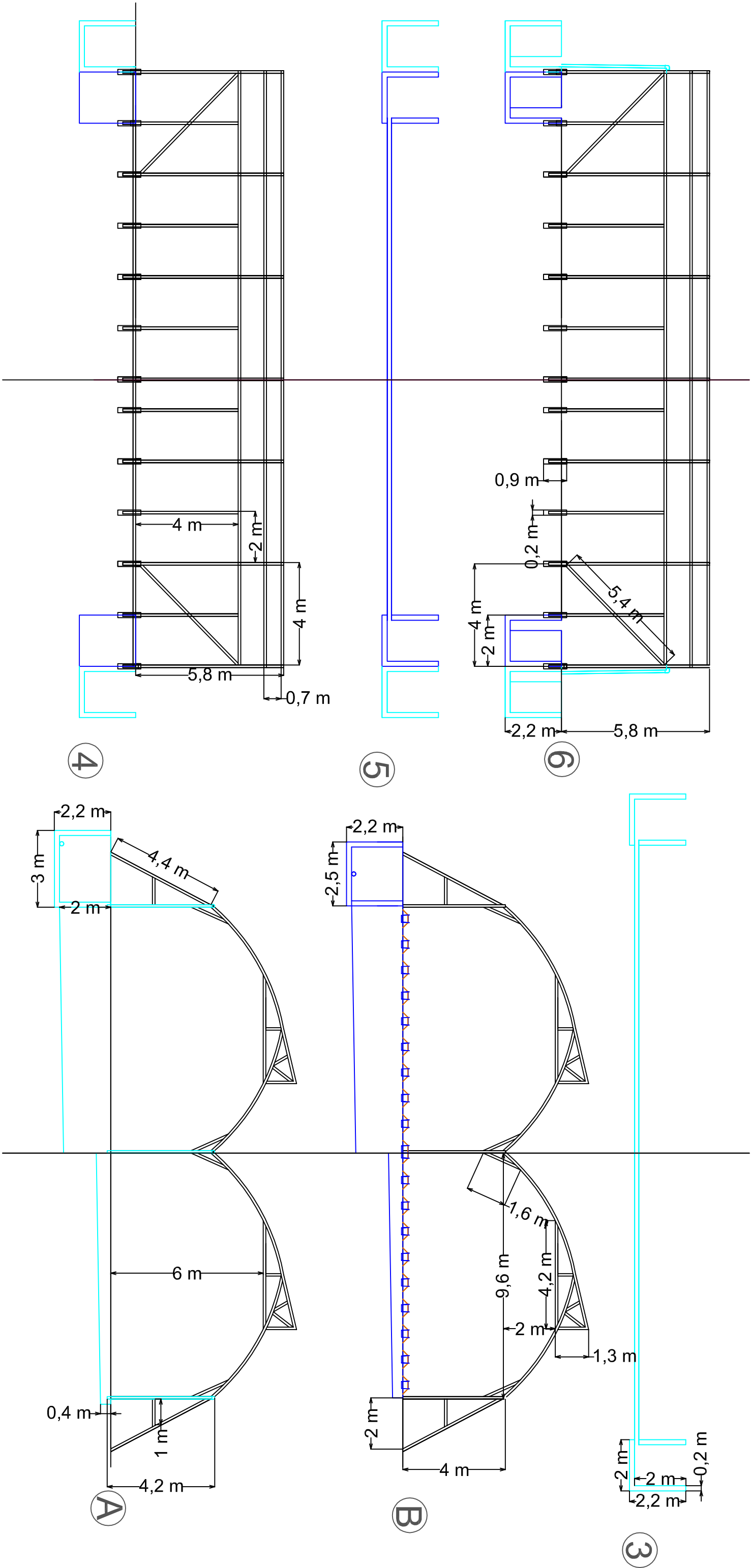
APÉNDICE A Ejes: 3, 4, 5, 6, A, B. con los cortes X y Y.

Sistema de captación de lluvia

Sistema de recirculación

Invernadero

Escala 1:350



APÉNDICE A Ejes: 3, 4, 5, 6, A, B. con los cortes X y Y unidos.

Sistema de captación de lluvia	
Sistema de recirculación	
Invernadero	
Escala 1:150	

APÉNDICE B (Fotos del experimento)



Ilustración 1 Macetas con la fibra de coco sin expandir



Ilustración 2 Macetas con la fibra de coco expandida



Ilustración 3 Colocación de las macetas sobre los bancos



Ilustración 4 primer riego por inmersión antes del trasplante



Ilustración 5 Trasplante

APÉNDICE B (Fotos del experimento)



Ilustración 6 Las 14 plantas del experimento



Ilustración 7 Colocación del dispositivo anti evaporación.



Ilustración 8 Colocación de los normo goteros para el riego controlado



Ilustración 9 Se puede ver la diferencia de tamaño entre las dos partes del experimento

APÉNDICE C (riegos)

Fecha	suministrado		Fecha	suministrado		Fecha	suministrado
28/07/2016	100		03/10/2016	400		25/10/2016	1000
02/08/2016	100		04/10/2016	400		25/10/2016	1000
08/08/2016	100		04/10/2016	400		26/10/2016	1000
15/08/2016	100		05/10/2016	400		27/10/2016	1000
19/08/2016	100		05/10/2016	400		27/10/2016	
22/08/2016	150		06/10/2016	400		28/10/2016	1000
24/08/2016	150		06/10/2016	400		28/10/2016	1000
26/08/2016	150		07/10/2016	800		29/10/2016	1000
29/08/2016	150		07/10/2016			29/10/2016	1000
31/08/2016	150		08/10/2016	400		30/10/2016	1000
02/09/2016	150		08/10/2016	400		30/10/2016	1000
04/09/2016	200		09/10/2016	400		31/10/2016	1000
06/09/2016	200		09/10/2016	400		01/11/2016	1000
08/09/2016	250		10/10/2016	400		02/11/2016	1000
09/09/2016	300		10/10/2016	400		02/11/2016	1000
10/09/2016	300		11/10/2016	400		03/11/2016	1000
11/09/2016	300		11/10/2016	400		04/11/2016	1000
12/09/2016	300		12/10/2016	400		04/11/2016	2000
13/09/2016	300		12/10/2016	400		05/11/2016	1000
14/09/2016	300		13/10/2016	400		05/11/2016	1000
15/09/2016	300		13/10/2016	400		06/11/2016	1000
16/09/2016	300		14/10/2016	800		06/11/2016	1000
17/09/2016	500		15/10/2016	800		07/11/2016	1000
18/09/2016	500		16/10/2016	800		08/11/2016	1000
19/09/2016	500		17/10/2016	400			
20/09/2016	500		17/10/2016	400			
21/09/2016	500		18/10/2016	400		Total	13750
22/09/2016	500		18/10/2016	400			
23/09/2016	500		19/10/2016	400			
24/09/2016	500		19/10/2016	400			
25/09/2016	500		20/10/2016	400			
26/09/2016	500		20/10/2016	400			
27/09/2016	500		21/10/2016	600			
28/09/2016	500		21/10/2016	600			
29/09/2016	500		22/10/2016	600			
30/09/2016	500		23/10/2016	1000			
01/10/2016	800		23/10/2016	1000			
02/10/2016	1100		24/10/2016	1000			
03/10/2016	400		24/10/2016	1000			

APÉNDICE D (sistemas de riego, costos)

Material	Cantidad	Precio	Precio	Material	Cantidad	Precio	Precio
Tramo de Tubería 3in	16	\$690.00	\$11,040.00	Tramo de Tubería 6 pulgadas	16	\$1,935.00	\$30,960.00
Pichancha	1	\$3,198.31	\$3,198.31	Pichancha	1	\$6,713.00	\$6,713.00
Te	7	\$161.00	\$1,127.00	Te	7	\$476.00	\$3,332.00
Codos	2	\$88.12	\$176.24	Codos	2	\$380.00	\$760.00
Válvula bola	10	\$77.35	\$773.50	Válvula bola	10	\$1,346.00	\$13,460.00
Tramo de Tubería 1.25 in	32	\$203.66	\$6,517.12	Tramo de Tubería 3 pulgadas	32	\$690.00	\$22,080.00
Codos	4	\$5.40	\$21.60	Codos	4	\$88.00	\$352.00
Válvula expulsora de aire	4	\$657.00	\$2,628.00	Válvula expulsora de aire	4	\$657.00	\$2,628.00
Rollo de manguera	34	\$870.00	\$29,580.00	Rollo de manguera	34	\$870.00	\$29,580.00
Goterros	5750	\$2.89	\$16,617.50	Goterros	23000	\$2.89	\$66,470.00
Macetas	23000	\$35.00	\$805,000.00	Macetas	23000	\$35.00	\$805,000.00
Anillo final de línea	196	\$2.10	\$411.60	Anillo final de línea	196	\$2.10	\$411.60
Válvula de línea	196	\$12.60	\$2,469.60	Válvula de línea	196	\$12.60	\$2,469.60
Contenedor 1100 litros	1	\$2,158.00	\$2,158.00	Contenedor 1100 litros	1	\$2,158.00	\$2,158.00
Estacas	23000	\$1.68	\$38,640.00	Estacas	23000	\$1.68	\$38,640.00
Rollo de Microtubing	46	\$1,089.00	\$50,094.00	Rollo de Microtubing	46	\$1,089.00	\$50,094.00
Bomba	1	\$5,000.00	\$5,000.00	Bomba	1	\$5,000.00	\$5,000.00
Rollo de Canaleta	98	\$1,554.00	\$152,292.00	Rollo de Canaleta	98	\$1,554.00	\$152,292.00
Distribuidor de 4 salidas	5750	\$1.92	\$11,040.00	Rollo de geomembrana cal	4	\$6,699.99	\$26,799.96
Rollo de geomembrana cal	4	\$6,699.99	\$26,799.96	Tramo te tubo de 6 in	17	\$1,935.00	\$32,895.00
Tramo te tubo de 6 in	17	\$1,935.00	\$32,895.00	Pileta de recuperación de agua	2	\$5,072.84	\$10,145.68
Pileta de recuperación de	2	\$5,072.84	\$10,145.68				
Dispositivos anti evaporación	23000	\$0.90	\$20,700.00			Total	\$1,302,240.84
		Total	\$1,229,325.11				

APÉNDICE E (escorrentía)

fecha	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Planta 7	suma	promedio
23/09/2016	200	100	300	362	311	400	200	1873	267.6
24/09/2016	77	50	112	105	128	250	31	753	107.6
02/10/2016	0	0	0	0	0	400	0	400	57.1
03/10/2016	0	435	433	15	14	640	60	1597	228.1
03/10/2016	0	67	245	210	228	233	193	1176	168.0
04/10/2016	0	175	50	0	4	50	15	294	42.0
04/10/2016	0	200	140	57	128	200	65	790	112.9
05/10/2016	0	80	50	0	60	140	0	330	47.1
05/10/2016	100	251	264	200	210	215	221	1461	208.7
06/10/2016	0	100	50	10	19	58	0	237	33.9
06/10/2016	45	250	150	105	200	200	316	1266	180.9
07/10/2016	153	195	270	190	220	350	290	1668	238.3
08/10/2016	350	500	200	410		460	120	2040	340.0
08/10/2016	0	0	0	0	0	0	75	75	10.7
09/10/2016	0	0	100	0	0	0	0	100	14.3
09/10/2016	0	0	40	0	0	0	34	74	10.6
10/10/2016	0	90	50	0	50	90	55	335	47.9
10/10/2016	0	145	50	0	60	160	150	565	80.7
11/10/2016	0	0	21	0	42	0	0	63	9.0
11/10/2016	265	160	155	0	187	180	122	1069	152.7
12/10/2016	0	40	0	0	55	90	90	275	39.3
12/10/2016	53	150	20	20	142	150	120	655	93.6
13/10/2016	0	0	0	105	0	0	0	105	15.0
13/10/2016	117	176	163	223	150	185	0	1014	144.9
14/10/2016	7	70	48	200	0	100	200	625	89.3
15/10/2016	210	310	400	412	340	400	300	2372	338.9
16/10/2016	18	60	90	200	20	60	2	450	64.3
17/10/2016	0	200	200	310	200	200	0	1110	158.6
17/10/2016	52	105	20	180	50	120	180	707	101.0
18/10/2016	0	40	0	35	120	100	100	395	56.4
18/10/2016	200	155	260	40	130	125	150	1060	151.4
19/10/2016	90	90	105	300	50	110	200	945	135.0
19/10/2016	156	123	170	200	0	139	150	938	134.0

APÉNDICE E (escorrentía)

fecha	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Planta 7	suma	promedio
20/10/2016	100	200	160	240	310	60	150	1220	174.3
20/10/2016	50	70	0	52	35	42	126	325	54.2
21/10/2016	150	35	170	100	100	182	220	957	136.7
21/10/2016	180	300	100	230	100	300	250	1460	208.6
22/10/2016	150	0	5	150	10	10	20	345	49.3
23/10/2016	300	210	150	290	90	200	280	1520	217.1
23/10/2016	690	350	450	610	550	600	600	3850	550.0
24/10/2016	700	850	600	650	505	610	500	4415	630.7
24/10/2016	600	680	650	700	600	620	700	4550	650.0
25/10/2016	910	850	820	890	830	900	890	6090	870.0
25/10/2016	790	600	650	770	680	800	710	5000	714.3
26/10/2016	710	830	700	720	680	700	700	5040	720.0
27/10/2016	790	890	890	890	750	810	740	5760	822.9
27/10/2016	800	710	700	700	700	700	800	5110	730.0
28/10/2016	710	600	600	650	600	700	610	4470	638.6
28/10/2016	600	700	700	805	705	700	700	4910	701.4
29/10/2016	810	900	700	600	500	600	700	4810	687.1
29/10/2016	850	750	550	900	850	810	760	5470	781.4
30/10/2016	710	720	950	750	590	710	680	5110	730.0
30/10/2016	840	900	900	850	810	850	900	6050	864.3
31/10/2016	600	750	700	750	590	710	650	4750	678.6
01/11/2016	780	840	790	800	420	830	550	5010	715.7
02/11/2016	600	600	810	610	610	900	830	4960	708.6
02/11/2016	950	980	910	1000	900	900	900	6540	934.3
03/11/2016	800	900	800	1000	900	900	910	6210	887.1
04/11/2016	850	900	880	900	820	800	950	6100	871.4
04/11/2016	900	950	940	940	820	900	990	6440	920.0
05/11/2016	1250	1550	1400	1490	1510	1500	1400	10100	1442.9
05/11/2016	930	950	1000	1100	900	990	1000	6870	981.4
06/11/2016	900	900	940	990	930	930	990	6580	940.0
06/11/2016	910	990	460	1000	900	450	900	5610	801.4
07/11/2016	920	980	1000	1000	990	1020	1010	6920	988.6
08/11/2016	920	990	990	1000	900	1000	900	6700	957.1

APÉNDICE E (escorrentía)

fecha	Planta 1'	Planta 2'	Planta 3'	Planta 4'	Planta 5'	Planta 6'	Planta 7'	suma	promedio
23/09/2016	200	400	200	300	200	360	300	1960	280.0
24/09/2016	96	161	25	70	10	260	100	722	103.1
02/10/2016	30	127	0	0	220	600	0	977	139.6
03/10/2016	1000	310	310	450	1300	1250	100	4720	674.3
03/10/2016	300	246	30	87	300	310	18	1291	184.4
04/10/2016	300	31	217	300	300	321	5	1474	210.6
04/10/2016	300	150	150	190	350	360	47	1547	221.0
05/10/2016	147	26	72	113	315	321	26	1020	145.7
05/10/2016	280	250	220	254	300	350	204	1858	265.4
06/10/2016	335	0	50	34	327	350	0	1096	156.6
06/10/2016	318	175	163	147	417	700	74	1994	284.9
07/10/2016	300	280	283	290	360	360	300	2173	310.4
08/10/2016	520	300	500	600	620	700	400	3640	520.0
08/10/2016	200	0	0	0	210	360	0	770	110.0
09/10/2016	390	0	0	0	450	480	0	1320	188.6
09/10/2016	200	0	13	0	300	300	0	813	116.1
10/10/2016	400	40	140	170	330	480	0	1560	222.9
10/10/2016	260	0	150	110	270	300	0	1090	155.7
11/10/2016	300	271	0	100	310	400	0	1381	197.3
11/10/2016	64	200	245	200	215	355	233	1512	216.0
12/10/2016	290	41	0	4	200	400	55	990	141.4
12/10/2016	300	140	230	200	300	300	110	1580	225.7
13/10/2016	150	0	60	23	200	350	0	783	111.9
13/10/2016	300	0	300	256	250	15	124	1245	177.9
14/10/2016	200	120	55	60	260	x	0	695	115.8
15/10/2016	500	505	410	405	550	x	300	2670	445.0
16/10/2016	400	200	250	120	500	x	0	1470	245.0
17/10/2016	370	270	305	250	450	x	90	1735	289.2
17/10/2016	150	100	200	110	210	x	90	860	143.3
18/10/2016	200	48	130	155	200	x	80	813	135.5
18/10/2016	300	100	240	200	240	x	150	1230	205.0
19/10/2016	200	360	200	160	210	x	60	1190	198.3
19/10/2016	162	184	145	156	200	x	200	1047	149.6

APÉNDICE E (escorrentía)

fecha	Planta 1'	Planta 2'	Planta 3'	Planta 4'	Planta 5'	Planta 6'	Planta 7'	suma	promedio
20/10/2016	240	230	0	200	360	x	170	1200	200.0
20/10/2016	84	6	150	6	101	0	43	390	55.7
21/10/2016	250	100	300	115	250	x	200	1215	202.5
21/10/2016	380	380	290	300	380	x	160	1890	315.0
22/10/2016	200	140	205	100	130	x	100	875	145.8
23/10/2016	300	210	300	200	310	x	200	1520	253.3
23/10/2016	690	650	500	600	640	x	510	3590	598.3
24/10/2016	600	610	910	520	705	x	490	3835	639.2
24/10/2016	870	710	700	700	710	x	600	4290	715.0
25/10/2016	980	900	950	900	890	x	910	5530	921.7
25/10/2016	800	750	805	670	790	x	700	4515	752.5
26/10/2016	850	840	800	790	800	x	680	4760	793.3
27/10/2016	900	900	900	8890	830	x	700	13120	2186.7
27/10/2016	800	710	800	670	710	x	900	4590	765.0
28/10/2016	800	710	750	720	720	x	600	4300	716.7
28/10/2016	700	710	810	850	800	x	600	4470	745.0
29/10/2016	980	800	700	650	670	x	800	4600	766.7
29/10/2016	900	940	900	890	900	x	800	5330	888.3
30/10/2016	890	840	840	810	850	x	710	4940	823.3
30/10/2016	900	950	920	900	900	x	900	5470	911.7
31/10/2016	900	800	700	700	800	x	700	4600	766.7
01/11/2016	880	680	820	650	705	x	600	4335	722.5
02/11/2016	960	960	960	960	960	x	810	5610	935.0
02/11/2016	920	910	810	880	990	x	950	5460	910.0
03/11/2016	1000	910	1000	950	890	x	910	5660	943.3
04/11/2016	1000	1000	920	900	920	x	900	5640	940.0
04/11/2016	1000	970	960	1000	910	x	910	5750	958.3
05/11/2016	1600	1500	1700	1510	1500	x	1600	9410	1568.3
05/11/2016	1050	1100	970	1100	1150	x	1000	6370	1061.7
06/11/2016	900	960	950	900	950	x	1000	5660	943.3
06/11/2016	1100	910	905	970	1000	x	995	5880	980.0
07/11/2016	1020	980	960	1020	1020	x	1000	6000	1000.0
08/11/2016	1010	990	1010	1000	990		990	5990	998.3

APÉNDICE F (simulaciones en Epanet)

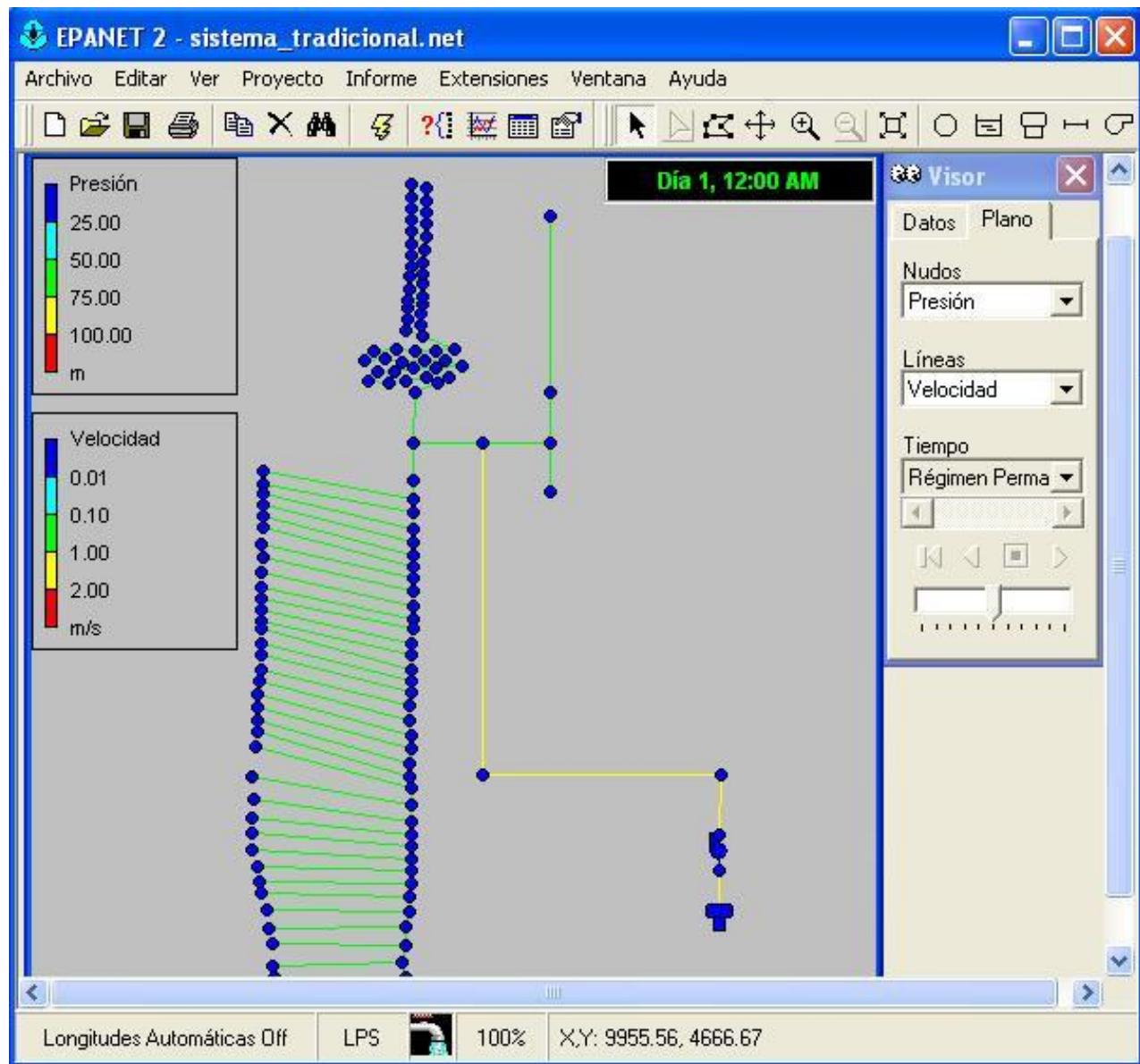


Imagen 1 Muestra los resultados de la simulación de un sistema de riego tradicional con los diámetros calculados en la sección de dimensionamiento.

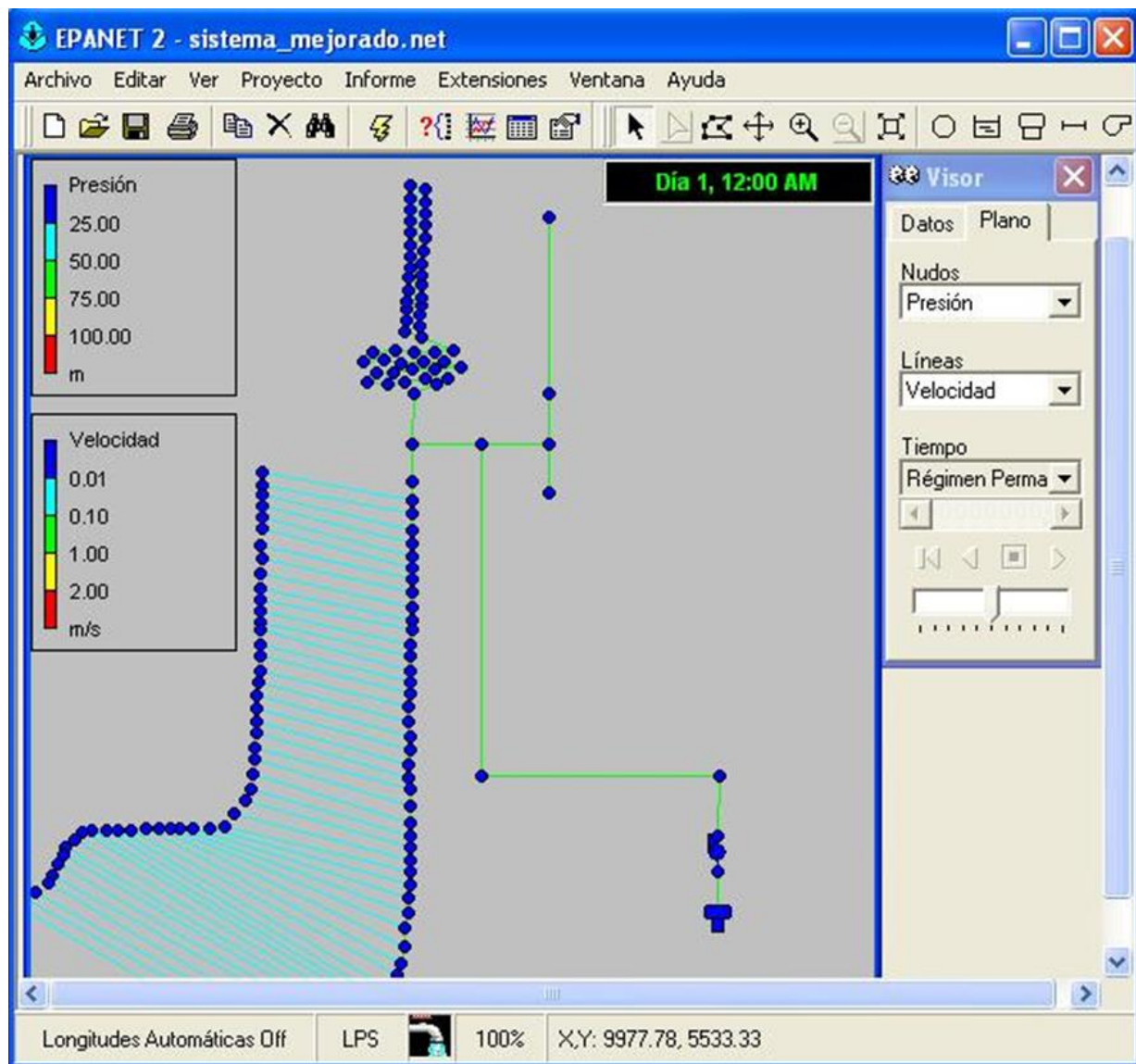


Imagen 2 Muestra los resultados de la simulación del sistema de riego mejorado con los diámetros calculados en la sección de dimensionamiento, y se observa que tiene un buen desempeño en cuanto a presión y velocidad.

APÉNDICE G (Costo del invernadero)

Material	Cantidad	Precio unitario	Precio
PTR 100*100 columnas kg.	17754.75	\$ 23.00	\$ 408,359.25
PTR 100*100 contravientos kg.	1455.58	\$ 23.00	\$ 33,478.34
PTR 100*50 kg.	13500	\$ 23.00	\$ 310,500.00
PTR 100*51 kg.	3740	\$ 23.00	\$ 86,020.00
PTR 100*100 kg.	8680	\$ 23.00	\$ 199,640.00
Canalón	367	\$ 862.63	\$ 316,585.21
Resumidero pluvial	22	\$ 634.03	\$ 13,948.66
Placas para capitel	286	\$ 176.52	\$ 50,484.72
Placas de 2 m para sujetar la cubierta	4543	\$ 33.72	\$ 153,189.96
kg. De alambre para sujetar la cubierta	403	\$ 57.50	\$ 23,172.50
Pijas de 1/2 in	30	\$ 36.00	\$ 1,080.00
Rollo de 305 m. de Cable de Acero de 5/32 con hilada de 7x7	8	\$ 3,250.00	\$ 26,000.00
kg. De alambre para tutoreo	454	\$ 57.50	\$ 26,105.00
Maya contra insectos	6	\$ 4,854.60	\$ 29,127.60
Rollo polietileno para la cubierta	25	\$ 6,443.00	\$ 161,075.00
Polietileno para la cubierta de paredes	3	\$ 6,443.00	\$ 19,329.00
Bajantes 6in	15	\$ 1,935.00	\$ 29,025.00
Rollo de geomembrana cal 1200	4	\$ 6,699.99	\$ 26,799.96
Tramo te tubo de 6 in	17	\$ 1,935.00	\$ 32,895.00
Pileta de recuperación de agua	2	\$ 5,072.84	\$ 10,145.68
Rollo de cinta para pegar canalón	15.29	\$ 205.00	\$ 3,134.45
Flecha para Cortina de 1" de 3 metros	132	\$ 179.00	\$ 23,628.00
Motor eléctrico para Cortina de Invernadero	10	\$ 3,899.00	\$ 38,990.00
Carro para motor de Cortina de Invernadero	10	\$ 739.00	\$ 7,390.00
		Total	\$ 2,030,103.33