



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA EL CULTIVO DE TOMATE (SOLANUM LYCOPERSICUM) EN LA COMUNIDAD SAN ANDRES DEL MUNICIPIO DE TERRABOMA DEPARTAMENTO DE MATAGALPA”.

Para optar al título de Ingeniero Agrícola

Elaborado por

Br. Joseling Idania Calderón Herrera

Br. Deyvin José Valle Solís

Tutor

Ing. José Mamerto Mendez Úbeda

Managua, Diciembre 2020

Dedicatoria

A Dios

Por darme la oportunidad de vivir y estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres

Por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por confiar, creer en mí y en mis expectativas.

A mis amigos

Por su apoyo y conocimientos hicieron de esta experiencia una de las más especiales.

A mis familiares

Especialmente a mis abuelos, mis hermanos quienes siempre estuvieron apoyándome y animándome a seguir adelante y además de ellos aprendí muchos valores y a luchar por conseguir mis logros.

A mis maestros

Que compartieron sus conocimientos que tuvieron la paciencia para guiarnos por el camino del bien y de la enseñanza, nos enseñaron hacer mejor persona y profesionales eficientes.

Joseling Idania Caldearon Herrera.

Dedicatoria

A Dios

Quien inspiro y motivo mi espíritu para la realización de este estudio, por darme salud y bendición para alcanzar mis metas como persona y profesional.

A mis padres

Quienes siempre me apoyaron a seguir adelante, han estado durante todo mi camino aconsejando e inculcándome valores humanos.

A mis amigos

Por estar conmigo en aquellos momentos difíciles, en quienes siempre pude encontrar un hombro donde apoyarme.

A mis maestros

Quienes se han tomado el arduo trabajo de trasmitirme sus conocimientos, especialmente de campo y de los temas que abarca mi profesión. Pero además de eso, han sido los que han sabido guiarme por el camino correcto y quienes me han ofrecido sabios conocimientos para lograr mis metas.

Deyvin José Valle Solís.

Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud a Dios, por habernos dado fuerzas y sabiduría. Guiándonos por el camino correcto, quien con su bendición llena siempre nuestras vidas.

A nuestras familias, por su amor, entrega y sacrificio por nosotras durante toda nuestra formación

De igual manera nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), a la Facultad de Tecnología de la construcción (FTC), a nuestros profesores, especialmente al Ing. José Méndez quien con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pudiéramos crecer como profesionales, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente, pero no menos importantes, a nuestros amigos que estuvieron presente durante la realización de este estudio, brindándonos apoyo y ánimo.

Joseling Idania Calderón Herrera

Deyvin José Valle Solís

RESUMEN

En el desarrollo de esta monografía se realizó el diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en la comunidad San Andrés del municipio de Tarrabona departamento de Matagalpa, en el cual se realizó un análisis de las propiedades hidrofísicas del suelo para un diseño óptimo del sistema de riego, además, se determinaron los costos de instalación del sistema de riego por goteo.

El riego es necesario debido a la falta de lluvia o a la inadecuada distribución de la misma. El objetivo de este estudio fue diseñar, calcular y cuantificar el costo de los materiales y la instalación de un sistema de riego por goteo para el cultivo del tomate. El área de la parcela es de 11,200 m², con un tipo de suelo franco, con una capacidad de campo de CC = 35.75%, punto de marchitez permanente PMP = 21.46%, y la densidad aparente $D_a = 1.21 \text{ gr/cm}^3$; la fuente de abastecimiento de agua para riego será un pozo con un caudal de 68.95 gpm.

El objetivo del diseño del sistema de riego fue garantizar una buena aplicación de agua al cultivo, operando con bajos caudales en tiempos de riegos cortos pero adecuados a las necesidades hídricas del cultivo, permitiendo al productor aprovechar al máximo el recurso hídrico, reduciendo los costos de electricidad y obteniendo mayor uniformidad a la hora del riego.

Al elaborar el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo, se obtuvo que la tubería principal tendrá un diámetro de 3 pulgadas y una longitud de 574.22 metros; la fuente de abastecimiento (pozo) con un caudal disponible de 15,660 (l/hr), dado que el caudal es muy pequeño, se tuvo que dividir el área de riego en dos sectores de riego, el sector 1 con un caudal de diseño de 15,466 (l/hr) y el sector 2 con un caudal de 14,400 (l/hr). El diámetro de la tubería terciaria será de 2 pulgadas y una longitud total de 465.88 metros, la distancia y el caudal de los laterales varía de acuerdo a las dimensiones de las parcelas, el diámetro de la cinta de gotero será de 16 mm, y se utilizarán 7466.66 metros de esta cinta. La

carga total dinámica es de 98 pies, la capacidad de la bomba que se necesita es de 3 hp con un diámetro de salida de 3 pulgadas, se realizó el diseño geométrico para una mejor comprensión del sistema de riego para su elaboración se utilizó el programa AutoCAD.

La utilización de estas tecnologías vendrá mejorar la calidad del cultivo y a aumentar la producción en la cosecha y a tener un mejor uso de la fuente de agua.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	ANTECEDENTES	2
III.	JUSTIFICACIÓN	3
IV.	OBJETIVOS	4
	4.1. OBJETIVO GENERAL	4
	4.2. OBJETIVO ESPECIFICO	4
V.	MARCO TEÓRICO	5
5.1.	CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA	5
	5.1.1. Temperatura (T)	5
	5.1.2. Vientos (V)	5
	5.1.3. Radiación solar (Rs).....	6
	5.1.4. Evaporación (Ev).....	6
	5.1.5. Precipitación (P).....	7
5.2.	SUELO	7
	5.2.1. Suelos Agrícolas	7
	5.2.2. Muestreo de Suelo	8
5.3.	CONDICIONES EDAFOCLIMATICAS.....	8
	5.3.1. Capacidad de Campo (CC)	8
	5.3.2. Punto de Marchites Permanente (PMP).....	9
	5.3.3. Limite Productivo (LP).....	10
	5.3.4. Agua Fácilmente Utilizable (AFU)	10
5.4.	CONDICIONES TOPOGRÁFICAS	11
5.5.	SISTEMA DE RIEGO	11
	5.5.1. Riego por Goteo.....	11
	5.5.2. Requerimientos Hídricos	12
	5.5.3. Tipos de riego por goteo	13
	5.5.4. Aspectos agronómicos a considerar para la instalación del sistema de riego por goteo	13
	5.5.6. Salinidad y Drenaje	15
5.6.	CULTIVO DEL TOMATE	16
	5.6.1. Taxonomía	16

5.6.2. Morfología	17
5.6.7. Coeficiente biológico del cultivo de tomate	18
5.7. DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	19
5.7.1. Riego por Goteo	19
5.7.2. Diseño Agronómico	20
5.7.3. Diseño Hidráulico	22
5.7.4. Ventajas de Riego por Goteo	23
5.7.5. Partes de un Sistema de Riego por Goteo	24
5.7.6. Las Tuberías del Sistema de Riego por Goteo Pueden Tener las Sigüientes Especificaciones.....	25
5.7.7. Componentes de Instalación del Riego por Goteo.....	26
5.7.8. Elementos del Control de Sistema de Riego por Goteo.....	26
5.7.9. Sistema de Filtrado	27
5.7.10. Red de Distribución	28
5.7.11. Goteros.....	29
5.7.12. Régimen de Riego en el Método de Goteo.....	30
5.7.13. Aplicaciones de los Riegos	31
VI. DISEÑO METODOLÓGICO	35
6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	35
6.1.1. Según Enfoque de la Investigación.....	35
6.1.2. Según el Alcance de los Resultados.....	35
6.1.3. Según el Tiempo de Ocurrencia	35
6.1.4. Según el Periodo en que se Realiza el Estudio	35
6.2. UBICACIÓN.....	36
6.2.1. Macro Localización del Proyecto	36
6.2.2. Micro localización del proyecto	37
6.3. PROCESO DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	38
6.3.1. Visitas de Campo al Lugar de Estudio	38
6.3.2. Compilación de la Información.....	38
6.3.3. Determinación de las Propiedades Hidrofísicas del Suelo.....	39
6.4. DISEÑO AGRONÓMICO	39
Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia (Eto).....	39
6.4.1. Cálculo de la Evapotranspiración del Cultivo (ETc)	39

6.4.2.	Norma Parcial de Riego.....	40
6.4.3.	Frecuencia de Riego.....	41
6.4.4.	Intensidad de Aplicación.....	41
6.4.5.	Tiempo de Riego.....	42
6.4.6.	Jornada de Trabajo.....	42
6.4.7.	Sectores de Riego.....	43
6.5.	DISEÑO HIDRÁULICO.....	43
6.5.1.	Diseño de la Tubería Lateral.....	43
6.5.2.	Diseño de la Tubería Terciaria.....	48
6.5.3.	Diseño de la Tubería Conductora (Principal).....	52
6.5.4.	Pérdidas de Cargas Totales.....	53
6.5.5.	Determinación de la Carga Total Dinámica.....	53
6.6.	DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.....	55
	VII. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	56
7.1.	RESULTADOS DE TOPOGRAFÍA DEL ÁREA DEL PROYECTO.....	56
7.2.	RESULTADOS DE PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DEL SUELO.....	57
7.3.	RESULTADO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	59
7.4.	DISEÑO AGRONÓMICO DEL SISTEMA DE RIEGO.....	60
7.4.1.	Datos de entrada.....	60
7.4.2.	Calculo de la evapotranspiración (Etc).....	61
7.4.3.	Norma Parcial de Riego.....	62
7.4.4.	Frecuencia de Riego.....	62
7.4.5.	Intensidad de Aplicación.....	62
7.4.6.	Tiempo de Riego.....	62
7.4.7.	Jornada de Trabajo.....	63
7.4.8.	Cálculo del Sector de Riego.....	63
7.4.9.	Cálculo del Área y Caudal de Cada Sector.....	63
7.4.10.	Resumen del Diseño Agronómico.....	64
7.5.	DISEÑO HIDRAULICO.....	65
7.5.1.	Diseño de la Tubería Lateral.....	65
7.5.2.	Diseño de la Tubería Terciaria.....	70
7.5.3.	Diseño de la Tubería Conductora (Principal).....	73

7.5.4.	Pérdidas de Cargas Totales.....	73
7.5.5.	Determinación de la Carga Total Dinámica.....	73
7.5.6.	Resumen de Diseño Hidráulico.....	75
7.6.	LISTADO DE MATERIALES PARA EL SISTEMA DE RIEGO.....	76
7.7.	COSTOS DEL PROYECTO.....	78
7.7.1.	Costos de Materiales	78
7.7.2.	Costos de Zanjeo.....	78
7.7.3.	Costos de Mano de Obra.....	79
7.7.4.	Costo de Transporte	79
7.7.5.	Costos totales	79
8.1.	CONCLUSIONES.....	80
8.2.	RECOMENDACIONES.....	81
IX.	BIBLIOGRAFIA.....	82
X.	ANEXOS.....	i
	ANEXO I. DATOS METEOROLÓGICOS	ii
	ANEXO II. TABLAS	vii
	ANEXO III. FIGURAS	xiii
	ANEXO IV. PLANO	xvii

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TAXONOMÍA DEL CULTIVO DE TOMATE	16
TABLA 2. COEFICIENTE DEL CULTIVO K_c	19
TABLA 3. PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DEL SUELO	57
TABLA 4. DATOS CLIMATOLÓGICOS	60
TABLA 5. DISEÑO AGRONÓMICO	64
TABLA 6. CONSTANTE M	66
TABLA 7. LONGITUD EQUIVALENTE DE LA CINTA DE GOTERO	67
TABLA 8. FACTOR T EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE DEL TERRENO.....	69
TABLA 9. RESUMEN DE PÉRDIDA DE CARGA	71
TABLA 10. AFORO DEL POZO DEL PROYECTO	75
TABLA 11. RESULTADOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO.....	76
TABLA 12. MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO.....	76
TABLA 13. COSTOS DE ZANJEO Y ATERRADO	78
TABLA 14. COSTO DE MANO DE OBRA	79
TABLA 15. COSTOS DEL PROYECTO	79
TABLA 16. TEMPERATURA MÍNIMA.....	II
TABLA 17. TEMPERATURA MÁXIMA.....	III
TABLA 18. HUMEDAD.....	IV
TABLA 19. VELOCIDAD DEL VIENTO	V
TABLA 20. BRILLO SOLAR.....	VI
TABLA 21. COEFICIENTE K , PERDIDA LOCALES POR ACCESORIO	VII
TABLA 22. PROFUNDIDAD DE RAÍCES DE LOS CULTIVOS	VIII
TABLA 23. COEFICIENTE DE CHRISTIANSEN	IX
TABLA 24. COSTOS DE MATERIALES.....	X
TABLA 25. PERDIDA DE CARGA DE LOS ACCESORIOS	XII

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.....	25
FIGURA 2. FILTRO HIDRO CICLON.....	27
FIGURA 3. FILTRO DE MALLA	28
FIGURA 4. MACRO LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	36
FIGURA 5. MICRO LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	37
FIGURA 6. RELIEVE DE LA PARCELA EN ESTUDIO	56
FIGURA 7. CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN CROPWAT	XIII
FIGURA 8. CULTIVO DEL TOMATE	XIV
FIGURA 9. MARCO DE PLANTACIÓN	XIV
FIGURA 10. CINTA DE GOTERO	XV
FIGURA 11. TUBERÍA TERCIARIA	XV
FIGURA 12. FUENTE DE AGUA.....	XVI
FIGURA 13. PROFUNDIDAD DEL ESPEJO DE AGUA.....	XVI

I. INTRODUCCIÓN

En la agricultura el agua juega un papel muy importante, ya que es el vital líquido para el crecimiento de las plantas. El control y aprovechamiento del agua en lugares áridos requieren la aplicación de un sistema de riego, que con ayuda de los estudios edáficos de la planta e hidrofísicas del suelo, nos ayuden a explotar al máximo el vital líquido.

A medida que el costo del agua se incrementa, el buen uso de la misma será determinante para el éxito económico del cultivo. Se sabe que el riego por goteo es una alternativa tecnológica para explotar el uso del agua ya que es uno de los riegos más eficientes que existe, porque aprovecha al máximo el recurso hídrico. El riego por goteo es la aplicación precisa, lenta y frecuente del agua mediante un punto o una línea emisora, que funciona con baja presión de trabajo (20Kpa-200Kpa) y con un bajo caudal (0.6Lph- 20Lph), produciendo un humedecimiento parcial del suelo. Es por eso que la mayoría de los agricultores valoran este sistema de riego como una alternativa para el buen rendimiento de la cosecha (*Liotta, et al., 2015*).

El tomate es una de las hortalizas que más se siembra y se consume en el país, se caracteriza por ser un cultivo intenso durante todo el año, y cuya producción se da en todo el territorio nacional. El tomate requiere de una correcta aplicación de riego para su crecimiento, desarrollo y una buena floración de la planta (*López & Marin, 2016*).

En el presente trabajo se diseñó un sistema de riego por goteo en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*), se realizó un análisis de las propiedades hidrofísicas del suelo, así como también los requerimientos edáficos de la planta.

II. ANTECEDENTES

El riego por goteo es uno de los sistemas de riego más antiguos del mundo, es uno de los sistemas usados en diferentes países del continente, uno de los cultivos que utiliza el riego por goteo es el tomate obteniendo buenos resultados en nuestro país, aumentando su producción, porque la planta necesita una humedad relativa de 60% al 80%. A través de este sistema existe una buena distribución del agua.

En el 2012 se realizó una investigación acerca del diseño de riego por goteo para el cultivo del tomate en la comarca Talchocote del departamento de León, en el cual se estudiaran las condiciones edafoclimáticas de la zona y se realizó el diseño hidráulico y geométrico obteniendo muy buena aceptación por los agricultores logrando buenos rendimientos en la producción.

Los productores se encuentran interesados en aprender nuevas técnicas para reducir costos y aumentar su producción. En el 2014 la organización WORD VISION se ha encargado de dar talleres a unos pocos agricultores a quienes proporciona los implementos necesarios para un sistema de riego que cubra media manzana de tierra. Entre estos implementos estas mangueras de gotero, tanques y la tubería. Este proyecto ha sido aceptable por los productores, se obtenido buena producción, ahorrado costos de energía, no hay crecimiento de maleza y no se desperdicia el agua.

Desde entonces este sistema de riego se ha extendido por todo el municipio, pero de una manera empírica; los productores solo tienden la cinta de gotero y la conectan a la terciaria y está a la bomba, no toman en cuenta los parámetros climáticos, edáficos e hidráulicos que comprende un sistema bien diseñado.

III. JUSTIFICACIÓN

El principal objetivo de esta investigación es realizar un estudio de distribución de consumo de agua del cultivo de tomate, a través del sistema de riego por goteo, que es uno de los sistemas más eficiente. Se utiliza en las zonas áridas, como es el caso del municipio de Terrabona que tiene escasas de agua para riego. El agua aplicada por este método de riego se infiltra a las raíces de la planta, irrigando directamente la zona de influencia de las raíces a través de un sistema de tuberías y cinta de gotero.

En nuestro municipio no todos los agricultores tienen la capacidad para utilizar o instalar un sistema de riego por goteo sin embargo existen varios productores que hacen uso de este método. El riego por goteo es cada vez más necesario para desarrollar la pequeña y mediana agricultura nicaragüense, afectada por los inviernos tardíos y escasas lluvias durante en la época de invierno debido al cambio climático global.

La capacidad de la fuente de agua es la que determina el área de riego que puede satisfacer las necesidades hídricas del cultivo. Sucede con mucha frecuencia que sin contar con esta información se han instalado en Nicaragua sistemas de riegos más grandes que la capacidad de riego de la fuente de agua y como consecuencia no hay suficiente agua para suplir las necesidades del cultivo.

A través de los resultados obtenidos en la investigación se recomiendan pasos o acciones a seguir a los agricultores, que en muchos casos hacen uso ineficiente de este sistema de riego por goteo en el cultivo de tomate, provocando que tengan un bajo rendimiento en la cosecha.

El municipio de Terrabona está ubicado en el corredor seco de Nicaragua, el clima es muy caliente y árido, con ríos secos y temperaturas que alcanzan los 32⁰ C, se necesita saber la cantidad de agua necesaria para cubrir la necesidad que la planta de tomate requiere para su crecimiento, desarrollo y floración.

IV. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar el sistema de riego por goteo para el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*) en la comunidad de San Andrés, municipio de Terrabona, departamento de Matagalpa.

4.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Establecer las características topográficas, propiedades hidrofísicas del suelo y condiciones climáticas de la zona de estudio, necesarias para una adecuada planificación del riego en el cultivo de tomate.
- Realizar el diseño agronómico, hidráulico y geométrico del sistema de riego por goteo a través de memoria de cálculo y uso del CROPWAT y el AutoCAD.
- Determinar los costos de instalación del sistema de riego en el cultivo de tomate a través de la cotización de materiales y mano de obra requeridos.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA

La comunidad de San Andrés, que está localizada en la parte rural sur del municipio de Terrabona con coordenadas geográficas 85°00'29" OESTE y 12°44'31" Norte, presenta una temperatura que oscila entre 33.5°C y 37.6°C con una altura de 478msnm, con vientos aproximados a los 8km/h con una radiación solar de 22.9 en el mes de marzo, y una precipitación de 615,2mm.

5.1.1. Temperatura (T)

La temperatura está directamente relacionada con la intensidad y duración de la radiación solar y tiende a fijar los límites extremos de crecimiento de la planta, juega un papel importante en el desarrollo y crecimiento de un cultivo, y el cultivo del tomate no es la excepción, las temperaturas óptimas oscilan entre 33.5°C y 37.6°C.

Según los datos de la temperatura se observa que la temperatura máxima es de 37.6°C en abril y la mínima es 33.5°C en diciembre. La humedad relativa es un elemento climático que tiene una gran influencia en el desarrollo y aparición de enfermedades.

En los datos se observa que el mes de octubre posee el valor máximo de humedad relativa con 84% y el mes de marzo posee el valor mínimo con 66%, al contrario de la evaporación los meses de máxima humedad relativa corresponde a la estación lluviosa y los meses de mínima humedad relativa corresponde a la estación seca.

5.1.2. Vientos (V)

La evaporación de la superficie de agua y suelo ocurre más rápido cuando hay aire seco y caliente en movimiento. Los vientos secos y calientes que soplen durante el periodo de crecimiento, afectaran grandemente la cantidad de agua

consumida. Sin embargo, existe un límite en la cantidad de agua que se puede evaporar, cuando la superficie del terreno se seca, la evaporación prácticamente cesa y la transpiración se ve limitada a la que las plantas pueden extraer de las raíces. El tomate no presenta problema en esta zona, ya que no son fuertes.

5.1.3. Radiación solar (Rs)

El efecto de la radiación solar entre la actividad de la planta es un proceso botánico conocido como fotosíntesis. Todos los procesos de la planta, incluyendo la circulación del agua a través de las raíces, tallos y hojas, son acelerados por un incremento de la radiación solar.

Estudios realizados en el cultivo del tomate, indican que valores reducidos de radiación solar pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el periodo vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad. Según los registros de la estación; la radiación solar máxima es el mes de agosto con 11.0 MJ/m/día y el mínimo es en el mes de noviembre con 5.0 MJ/m/día.

5.1.4. Evaporación (Ev)

Este elemento climático tiende a variar debido a la acción de otros elementos meteorológicos y además por la naturaleza de la superficie evaporante de los elementos que tiene influencia tenemos la radiación solar, nubosidad, temperatura del aire, presión de vapor y el viento.

Según los datos obtenidos por los diferentes tres métodos de cálculo se muestran valores de evaporación donde se tiene el valor mínimo en el mes de octubre con 6.1mm, y la máxima 10.5mm en abril.

Según los cálculos realizados de evapotranspiración, por el método de Penman y utilizados los datos obtenidos de la estación de Matagalpa (San Isidro), el mes de

máxima evapotranspiración es de 4.20 mm/día, y la encontramos en el mes de Abril.

5.1.5. Precipitación (P)

La precipitación o lluvia es el elemento más importante para la agricultura debido a que es una de las fuentes que provee a los suelos la humedad necesaria para satisfacer la demanda hídrica de los cultivos. Es importante hacer referencia a que la planta de tomate requiere una considerable cantidad de agua debido a su sistema radicular que es muy complejo en lugares donde se cuenta con sistemas de riego adecuados para el cultivo y que la fuente de abasto sea suficiente para satisfacer las exigencias del cultivo.

Según la estación los registros promedios anuales andan por el orden de 953.63mm los meses de lluvia son de mayo a noviembre (7 meses) y sin lluvia de diciembre hasta abril (5 meses), siendo los promedios máximos entre mayo con 167.5mm y octubre con 211.5mm y el mínimo en noviembre con 14.9mm, los valores de la estación lluviosa nos dan un indicativo de cuándo podrían iniciar o suspender los riesgos en el área de trabajo.

5.2. SUELO

La planta de tomate no es muy exigente cuanto a suelos de textura silíceo arcilloso y ricos en materia orgánica. No obstante, se desarrolla perfectamente en suelo franco-arcilloso. En cuanto al pH los suelos pueden ser ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie cultivada en invernaderos que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de río (Ortiz & Godoy, 2013).

5.2.1. Suelos Agrícolas

Es aquel que se utiliza en ámbito de la productividad para hacer referencia a un determinado tipo de suelo que es apto para todo tipo de cultivo y plantaciones, es decir para la actividad agrícola o agricultura el suelo agrícola debe de ser en primer

lugar un suelo fértil que permita el crecimiento y desarrollo de diferentes tipos de cultivos que sean luego cosechados y utilizados por el hombre, por lo cual también debe evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas para su uso (Ortiz & Godoy, 2013).

5.2.2. Muestreo de Suelo

Es una de las etapas críticas dentro del proceso de diagnóstico de la fertilidad y de las propiedades hidrofísicas del suelo, por lo tanto, es necesario hacerlo con recomendaciones técnicas dependiendo del área a muestrear y del cultivo para el cual se va a hacer pronóstico, para efectuar una adecuada recomendación de dosis de riego, fertilización y de enmienda para el cultivo (Ortiz & Godoy, 2013).

Para obtener las muestras se requiere contar con un plano de la finca. Existen dos tipos de muestras de suelo.

- **Muestra de suelo alterada:** Del terreno de estudio, se toman varias muestras de suelo y se colocan en un plástico, luego se mezclan las muestras hasta homogenizarse, y desde esa mezcla se toma una muestra representativa que será llevada al laboratorio.

- **Muestra de suelo inalterada:** Es tipo de muestra que consiste en tomar una porción de suelo, utilizando un cilindro de radio conocido y de altura conocida. Tomada la muestra se debe colocar en una bolsa y llevarla directo al laboratorio sin perder o aumentar el volumen de la muestra.

5.3. CONDICIONES EDAFOCLIMATICAS

5.3.1. Capacidad de Campo (CC)

Es el agua que ingresa en el perfil de un suelo, retiene o contiene después de haber cesado el drenaje en el suelo y la redistribución se hace lenta, pudiendo disponer la planta de esa agua. Es necesario reponer el agua cada vez que las plantas extraigan el agua del suelo, sin excederse en la irrigación para que el agua

esté al alcance de las raíces y no haya arrastre de los nutrientes a horizontes profundos (kerr Pérez & Centeno, 2012).

Después de la saturación se alcanza la capacidad de campo esta situación se asocia a una tensión de humedad en el suelo de 0.3 bares. Desde el punto biológico es óptima, ya que el nivel de máxima disponibilidad de agua para las plantas con aire presente y depende de las características físicas de los suelos, principalmente textura, estructura y porosidad.

También podemos expresarla como el contenido de agua que tiene el estrato de suelo originalmente saturado, luego que se ha drenado libremente en el perfil hacia estratos inferiores se conoce como capacidad de campo, que no es más que la cantidad máxima de humedad que el suelo puede retener contra el efecto gravitacional.

La capacidad de campo es distinta para los diferentes tipos de suelo, es menor para los arenosos y mayor para los suelos arcillosos los elementos que tienen influencia tenemos la radiación solar, hora del día, nubosidad, temperatura del aire, presión del vapor, el viento y la estación del año.

5.3.2. Punto de Marchites Permanente (PMP)

Considerado como el contenido de agua que tiene un suelo, bajo el cual las plantas no son capaces de absorberla por las raíces para cumplir con las exigencias impuestas por la transpiración. El punto de marchites permanente depende del consumo de agua de la planta, profundidad de la zona radicular del agua utilizada por la planta y de la capacidad de retención del suelo cuando aumenta la temperatura y la velocidad del consumo de humedad, el marchitamiento se produce con tensiones más bajas y contenido de humedad mayor (kerr Pérez & Centeno, 2012).

Cuando la humedad disminuye acercándose el PMP las plantas se afectan, se obstaculiza su desarrollo y al final disminuye mucho el rendimiento. Para un buen

desarrollo de la planta se recomienda mantener la humedad del suelo muy por encima del PMP.

5.3.3. Limite Productivo (LP)

Se define como el punto que determina el rango de humedad optima en la capa activa del suelo para un determinado cultivo que asegura que esté nos de los máximos rendimientos o sea producción, este valor se ha determinado en un punto entre la capacidad de campo y el punto de marchites permanente (kerr Pérez & Centeno, 2012).

Varios autores han considerado este valor como un 70-80% del valor de la capacidad de campo, sin embargo debemos hacer referencia que este es un dato aproximado y en ningún momento deberá representar para el ingeniero proyectista una realidad imperativa, más bien se deben hacer validaciones al respecto según las condiciones de la zona, utilidades de la empresa, criterios económicos, análisis de rendimiento de los cultivos en función del número de riegos aplicados por la campaña etc.

5.3.4. Agua Fácilmente Utilizable (AFU)

Es el valor comprendido entre un rango de CC y PMP. En este rango no toda esta humedad es igualmente accesible a las plantas, para la programación de los riegos se debe agotar únicamente hasta una porción de la capacidad de campo correspondiente al límite productivo, que normalmente se define en valores del 70% al 80% de la capacidad de campo (kerr Pérez & Centeno, 2012).

Este rango de humedad, de la AFU, corresponde a los egresos de la planta en un determinado periodo y es aquella humedad que deberá reponerse por el riego. Los egresos de la planta son una función directa del estado de la fase fenológica en que esta se encuentre y de las condiciones climáticas de la zona.

Decisiones de agotamiento de humedad hasta un 70% o 80% involucran decisiones técnicas, económicas del administrador del riego. Un 70% de la

capacidad de campo le corresponde mayor número de riegos en relación a la toma de decisión de un 80%.

5.4. CONDICIONES TOPOGRÁFICAS

Conjunto de operaciones de medidas efectuadas en el terreno para obtener las medidas necesarias de la parcela y obtener las curvas de nivel de la misma, ya con estas medidas se elaboran la representación gráfica de la parcela y nos damos una idea de donde se ubicarán las válvulas, la cantidad de tuberías a utilizar y la altura de terreno máximo que la bomba debe vencer para impulsar el agua. En nuestro trabajo, el levantamiento del terreno lo realizamos con la ayuda del GPS y posteriormente pasamos los datos al programa AutoCAD, para realizar nuestro diseño geométrico de las parcelas en estudio.

5.5. SISTEMA DE RIEGO

Se denomina sistema de riego o perímetro 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. El sistema de riego consta de una serie de componentes (componentes hidráulicos y componentes no hidráulicos)

Un Sistema de riego eficiente se determina entre la relación del volumen de agua efectivamente utilizado por las plantas y el volumen de agua requerido en la bocatoma. Se considera eficiente un método de riego cuando el agua que se destina a los cultivos es utilizada en un porcentaje superior al 70% (Pizarro, 1996).

5.5.1. Riego por Goteo

El riego localizado o por goteo es la aplicación de agua al suelo, en un área o zona más o menos restringida del volumen radicular. Sus principales características son; utilización de pequeños caudales a baja presión, localización del agua en proximidad de las plantas a través de un número variable de puntos de emisión y se debe operar con una alta frecuencia de aplicación a dosis pequeñas (Pizarro, 1996).

Riego por goteo supone una mejora tecnológica importante, que contribuirá a una mayor productividad y mejor uso del agua de riego.

El agua se aplica al suelo, luego se infiltra en el terreno y se mueve en diferentes direcciones principalmente en dirección vertical y horizontal. Bulbo húmedo en riego por goteo lo cual indica que no se moja todo el suelo, sino solo la parte que aplica el gotero, por consiguiente, humedece tan solamente el sistema radicular de la planta.

Los goteros de riego inducen un menor lavado de nutrientes por lixiviación o percolación de NO₃ (Nitrato), H₂PO₄ (Di hidrogeno fosfatado), y otros iones que son importantes en la nutrición de las plantas. Permite aplicar programas de ferti-irrigacion.

5.5.2. Requerimientos Hídricos

Antes de la plantación y después del laboreo se dará un fuerte riego para humedecer hasta 50-60cm de profundidad. En plantación se dará un riego por goteo en función de las necesidades de las plantas, caudal y distancia entre goteros y otro por aspersion para asegurar el agarre de las plantas lejanas del goteo (Zolezzi & Abarca, 2017).

Existen diversos sistemas de riego (gravedad, aspersion y goteo) y su uso depende de la disponibilidad de recurso, pendiente del terreno, textura del suelo, abastecimiento y calidad del agua. Con cualquiera de los sistemas seleccionados se debe evitar someter el cultivo a deficiencias o exceso de agua. Es importante la buena distribución del riego durante todo el ciclo del cultivo, como principalmente antes de la formación de frutos. El consumo diario por planta adulta de tomate es de aproximadamente 1.5 a 2lts por día, la cual varía dependiendo de la zona, las condiciones climáticas del lugar, la época del año y el tipo de suelo que se tenga (Zolezzi & Abarca, 2017).

5.5.3. Tipos de riego por goteo

➤ Subterráneo

Muy poco utilizado debido al periodo de desarrollo y cosecha que tienen los cultivos. Los ingenios azucareros de nuestro país utilizan este sistema, por ser muy económico, la caña puede pasar 6 años produciendo hasta que baja sus rendimientos y se vuelve a labrar la tierra, pero la cinta de gotero ya ha indemnizado su valor (Fernandez Gomez & Milla, 2010)

➤ Superficial

Este lo utilizan más los pequeños productores de hortalizas, ya que la cinta de gotero se coloca al pie del cultivo, cuando se termina la cosecha del cultivo, la cinta se retira antes de labrar el suelo y se guarda para la siguiente cosecha.

➤ Aéreo

Usado en invernaderos, el agua cae por gravedad tipo lluvia, pero controlada y para controlar la temperatura en el invernadero, usualmente son usados con programas de fertirriego.

5.5.4. Aspectos agronómicos a considerar para la instalación del sistema de riego por goteo

Hay dos aspectos que son primordiales conocer antes de hacer un diseño agronómico, ya que nos brindan la información necesaria para llevar a cabo una buena distribución del agua y una aplicación de la misma para obtener buenos resultados en la cosecha. Estos aspectos son:

➤ **Agua en el suelo**

Los programas de riego dependen de la cantidad de agua, de la textura y de la estructura del suelo, si las partículas de suelo son muy finas (suelo arcilloso) habrá mayor retención de agua en la superficie, pero si se riega en suelo arenoso esta se infiltrará rápidamente. Desde el punto de vista agronómico un suelo ideal es un suelo con textura franco, porque tiene una mejor relación agua-suelo-planta.

➤ **Relación Agua-Suelo-Planta**

Está orientado al análisis de los principios fisiológicos involucrados en la absorción, transporte, re-distribución y nutrientes de los vegetales. El agricultor será capaz de comprender las relaciones que se producen entre el suelo, agua y planta, entre la que destaca el movimiento del agua y nutrientes por las plantas, transporte de elementos, transpiración, relación entre el balance hídrico y la nutrición mineral, efectos de la falta de agua.

5.5.5. Estructura y Textura del Suelo

✓ **Estructura del suelo**

Define el estado de agregación de las partículas, componentes minerales o orgánicas. Dependen de la disposición de sus partículas menores para formar otras mayores o agregados (Cevallos Zambrano, 2008).

La permeabilidad del suelo al agua, aire y a la penetración de las raíces también dependen de la estructura. A diferencia de la textura la estructura puede ser combinada, por ejemplo: la rotación de cultivos.

✓ **Textura del suelo**

La textura del suelo será dada por las porciones finas que contiene el suelo al deshacerse los grumos. Existen tres clases de partículas arena, limo y arcilla.

Arena 2mm-0.05mm

Limo 0.05mm-0.02mm

Arcilla 0.02mm o menor

La textura estará determinada por el porcentaje en que se presentan las partículas en una porción de suelo.

Suelo franco: los componentes finos se encuentran en iguales proporciones aproximadamente (teórico).

Franco arenoso: proporción mayor de arena.

Franco arcilloso: proporción mayor de arcilla.

5.5.6. Salinidad y Drenaje

Un suelo para ser cultivado debe de estar saneado, para evitar la concentración de sales que van a dificultar el desarrollo del cultivo, e inmediatamente deben ser lavados e inundados con agua para que las sales sean arrastrados y lixiviados (Cevallos Zambrano, 2008).

Para eso requiere que el suelo debe tener un adecuado drenaje o en todo caso se debe construir los canales de drenaje, para que los suelos no estén encharcados acumulando iones de Na (sodio) que salinizan el suelo, por estar saturados de agua pueden morir las plantas, además habrá deficiencia de Fe (hierro)(clorosis).

5.6. CULTIVO DEL TOMATE

Se denomina tomate al fruto comestible de la *Solanum Lycopersicum*, planta popularmente conocida como tomate, es originaria de América y en la actualidad se cultiva en todo el mundo para su consumo que puede elaborarse de modo fresco, en salsas, en jugos, etc. Tiene un rango de colores muy vivos que van desde el rojo al amarillo (López & Marin, 2016).

5.6.1. Taxonomía

La taxonomía es la ciencia de la clasificación, se encarga de dar los nombres y colocar en categorías a las plantas. En nuestro caso clasificamos a la planta de tomate *Solanum lycopersicum* (López Marin, 2017).

Tabla 1. *Taxonomía del cultivo de tomate*

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Sud clase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Genero	Solanum
Sub genero	Patatoe
Sección	Petota
Especie	Solanum lycopersicum

Fuente: Ligia López Marín, Manual técnico del cultivo del tomate; San José Costa Rica; INTA

5.6.2. Morfología

5.6.1. Planta

Planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual puede desarrollarse rastrera, semi erecta. Existen variedades de crecimiento ilimitado (López & Marin, 2016).

5.6.2. Sistema radicular

La principal es corta y débil, raíces secundarias numerosas y fuertes y raíces adventicias. Seleccionado transversalmente la raíz principal de afuera hacia adentro encontramos epidermis, donde se ubican las pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes, córtex y cilindro donde se sitúa la xilema (conjunto de vasos especializados en el transporte de los nutrientes). La raíz es fibrosa con profundidad de 40 a 60 cm (López & Marin, 2016).

5.6.3. Tallo principal

Eje con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios e inflorescencia, su estructura de fuera hacia adentro, consta de epidermis de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o córtex, cuyas células más externas son fotosintética y la más internas son colenquimáticas. Cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales (López & Marin, 2016).

5.6.4. Hoja

Hoja compuesta e imparipinnada, con foliolos, lobulados y con bordes dentados, en un número de 7 a 9 y recubierto de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. El mesófilo o tejido parenquimatoso está recubierto por una epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos. La epidermis presenta un alto número de estomas. La zona superior o zona de

empalizada es rica en cloroplastos. Los haces vasculares son prominentes sobre todo en el envés y consta de un nervio principal (López & Marin, 2016).

5.6.5. Flor

La flor es perfecta, regular e hipógina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalo color amarillo y dispuesto de forma helicoidal a intervalo de 135° grados de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y de un ovario bi-plurilocural. Las flores se agrupan en inflorescencia de tipo ramoso generalmente en un número de 3 a 10 en variedades comerciales de tomate.

M y G es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique debajo de la primera flor formada dando lugar a una inflorescencia compuesta de forma que se han descrito algunas con más de 300 flores. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera y alrededor del eje principal.

5.6.6. Fruto

Valla bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos gramos hasta 600 gr. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentar en las semillas. El fruto puede recolectarse separándolo por la zona de la accisa de la adición de pedicelo, como ocurre en las variedades industriales en las que indeseable la presencia de parte del peciolo, o bien pueda separarse por la zona pedicular de unión al fruto (López & Marin, 2016).

5.6.7. Coeficiente biológico del cultivo de tomate

El coeficiente biológico del cultivo (kc) se define como la relación entre la evapotranspiración real de un cultivo (ET), y la evapotranspiración de referencio (Eto), cuando el suministro de agua atiende plenamente las necesidades del cultivo. El valor de kc varía con el cultivo y la etapa de desarrollo de este, en cierta medida, con la velocidad de viento y la humedad.

Para la mayoría de los cultivos el valor de Kc, aumenta desde el valor reducido en el momento de la nacencia hasta el valor máximo durante el periodo en que el cultivo alcanza su pleno desarrollo y declina a medida que madura el cultivo (Alcobendas & Moreno, 2011).

Tabla 2. *Coeficiente del cultivo Kc*

Cultivo	% Ciclo vegetativo			Kc		
	A	B	C	A	B	C
Tomate	25%	50%	75%	0.3	1.10	0.65

Fuente: Fuente Programa básico de riego, R.L Snyder; Universidad de california

5.7. DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Es la aplicación lenta y frecuente de agua al suelo mediante emisores o goteros localizados en puntos específicos a lo largo de unas líneas distribuidoras de agua. El agua emitida se mueve atreves del suelo mayormente por flujo no saturado. De este modo se mantienen unas condiciones favorables de humedad en la zona de raíces de las plantas y se propicia su desarrollo óptimo (*Liotta, et al.,2015*).

5.7.1. Riego por Goteo

Consiste de líneas principales, secundarias y laterales las líneas laterales pueden ser de tubo plástico pequeños combinados con goteros, o simplemente de tubo plástico de baja presión con orificios. Están diseñados para distribuir agua al campo con un grado aceptable de uniformidad. La línea secundaria actúa como un sistema de control, la cual puede ajustar presión de agua de tal forma que suministre la cantidad de flujo requeridos en cada lateral. También se utiliza para controlar el tiempo de riego en campos individuales. La línea principal sirve como un sistema de transporte para suministrar la cantidad total de agua requerida en el sistema de riego.

Hay otros componentes importantes tales como filtro, reguladores de presión, indicadores de presión, válvulas, inyectores de fertilizante, y otros, los cuales sirven diferentes propósitos en un sistema de riego (*Liotta, et al., 2015*).

5.7.2. Diseño Agronómico

El diseño agronómico es la parte del proyecto en cuanto decide una serie de elementos de instalación tales como números de emisores, disposición de los mismos, etc. Además, proporcionan unos datos básicos para el posterior diseño hidráulico, como caudal por emisor y planta, duración de riego, etc. (Pizarro, 1996).

✓ Fase Agronómica

Es la parte del proyecto donde se determinan elementos claves del sistema, como la evapotranspiración de diseño, disposición de emisores, precipitación por hora de la instalación y el tiempo necesario para reponer diariamente la evaporación del cultivo (Cevallos Zambrano, 2008).

El diseño ha de garantizar que la instalación puede suministrar con alta deficiencia las necesidades hídricas diarias del cultivo durante el periodo de máximo consumo, estimado en base las características del cultivo, parámetros climáticos como mojado, además un volumen de suelo suficiente para su adecuado desarrollo (Pizarro, 1996).

✓ Necesidades Hídricas de los Cultivos

La determinación de las necesidades de agua de los cultivos es el paso previo para establecer los volúmenes de agua que será necesario aportar con el riego.

La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que retiene (la que usan para crecimiento y para fotosíntesis) la transpiración puede considerarse por tanto como el consumo de agua de la planta. Además, debemos considerar que hay pérdida de agua por evaporación desde la superficie del suelo.

✓ **Evapotranspiración (Et)**

La evapotranspiración es la combinación de dos procesos: evaporación y transpiración. La evaporación es el proceso físico mediante el cual el agua se convierte en su forma gaseosa, la transpiración es el proceso mediante el cual el agua fluye desde el suelo hacia la atmósfera a través del tejido de la planta (Cevallos Zambrano, 2008).

✓ **Evapotranspiración potencial (ETo)**

La evapotranspiración es la pérdida de agua en una superficie cubierta completamente de vegetación. La evapotranspiración dependerá de 3 factores: vegetación, disponibilidad de agua en el suelo, comportamiento de las estomas (Cevallos Zambrano, 2008).

✓ **Evapotranspiración real (ETr)**

La evapotranspiración real que también se le conoce como evapotranspiración máxima (ET_m, mm/días) de un cultivo, se calcula multiplicando la evapotranspiración de la superficie de referencia (ET_m, mm/días) por el coeficiente del cultivo (k_c, adimensional) método extendido por Doorenbos y Pruitt (1975) (Alcobendas & Moreno, 2011).

✓ **Norma neta (Nn)**

La norma neta debe aplicarse al suelo, en el riego se determina la profundidad radicular del suelo y los requerimientos climáticos del cultivo, en donde se encuentra la mayor densidad radicular relacionado con la humedad del suelo (kerr Pérez & Centeno, 2012).

✓ **Norma bruta (Nb)**

Se llama requerimiento bruto o norma bruta a la cantidad de agua requerida por los cultivos o que se ha evaporado durante un intervalo de tiempo (kerr Pérez & Centeno, 2012).

✓ **Frecuencia de Riego (Fr)**

Se llama frecuencia de riego a los intervalos de tiempo entre riego.

✓ **Caudal Nominal**

Es el que suministra el gotero a presión nominal, suele estar comprendido entre 2 y 4lts por hora (l/H) en hortalizas, aunque puede llegar hasta valores de 8lts/h en otros cultivos (Kerr Pérez & Centeno, 2012).

✓ **Tiempo de Riego**

Periodo que debe permanecer el agua del sistema escurriendo sobre el suelo para que penetre hasta la zona de las raíces del cultivo.

5.7.3. Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico contempla el dimensionamiento de toda la red de tubería para lo cual se calcula las pérdidas de carga, las diferentes combinaciones de diámetro y la longitud de las tuberías, manteniendo una tolerancia de presiones en la subunidad y calculándose un requerimiento total de presiones (Pizarro, 1996).

A partir de los datos calculados en la fase agronómica y la superficie total a regar se determinan los sectores de riego, para un periodo de operación adecuado del sistema por día, luego tomando en cuenta la topografía de la zona a regar se procesa el diseño de la red hidráulica, calculando la tubería principal, secundaria, terciaria y lateral.

Los cálculos hidráulicos se realizan partiendo desde el final de los sectores avanzando hacia la fuente de agua del predio, se calculan primero las presiones y caudales de las subunidades de riego y se continuara con la tubería secundaria, hasta llegar a las primarias y terminar en el cabezal. Una vez determinado los componentes del cabezal, se produce a establecer la altura manométrica total, la junto a la capacidad del sistema permitirá la sección de la bomba y características de los sistemas de filtrado (Fernandez Gomez & Milla, 2010).

Los factores que intervienen en el diseño hidráulico son:

- ✓ Caudal por goteo: depende del cultivo, del suelo y tipo de gotero.
- ✓ Separación entre goteros: depende de la textura del suelo y del marco de plantación.
- ✓ Número de goteros: depende de la carga hidráulica disponible, del tipo de gotero, del diámetro de la tubería y de la separación entre gotero.
- ✓ Diámetro de la tubería.
- ✓ Coeficiente de pérdida de energía por frotamiento de Darcy-Weisbach.
- ✓ Topografía: es uno de los factores claves, para lo cual se necesitan las curvas de nivel.
- ✓ Carga hidráulica total disponible: limita el tipo de gotero a usar.
El cálculo hidráulico se realiza de igual forma que para sistema de tubería abastecedora de caudal variable.

5.7.4. Ventajas de Riego por Goteo

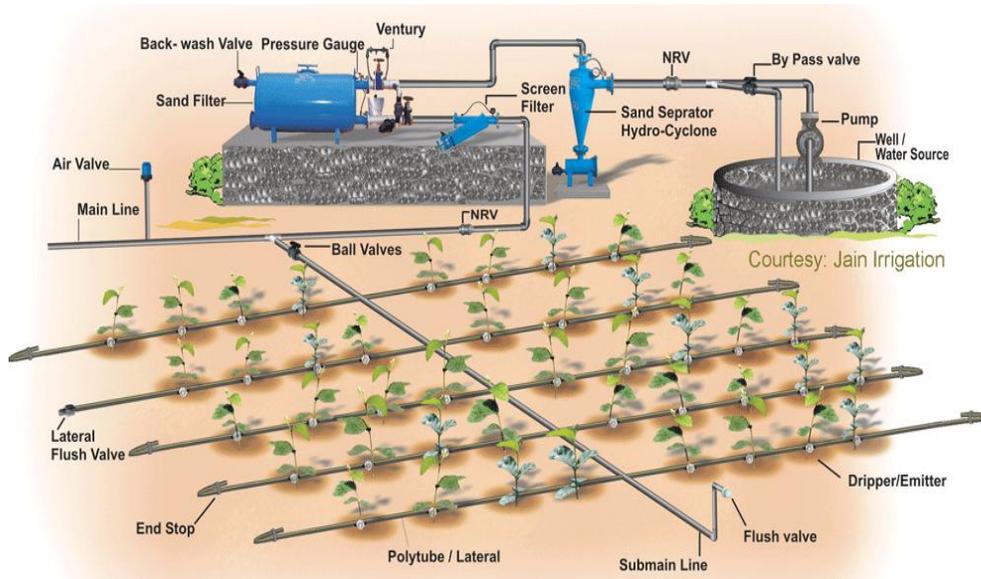
- ✓ Es adecuado en zonas con grandes escases de agua donde el gasto disponible sea muy pequeño (1-5 litros).
- ✓ En zonas de topografía adversa donde es imposible el uso de otros métodos de riego este método resulta adecuado.
- ✓ Se logra un enraizamiento profundo del cultivo.
- ✓ En zonas donde el agua de riego tenga alto contenido de sales, los métodos tradicionales (intervalos grandes entre riegos) hacen que se produzcan un aumento de contenido de sales, lo cual provoca un aumento en la tensión de humedad de suelo. Para mantener las tensiones bajas es necesario que la humedad en el suelo se encuentra a la capacidad de campo, lo que se logró en el riego por goteo (riego diario)
- ✓ Puede ser utilizados en cultivos sembrados en hileras: vegetales, café, plátano, caña, frijoles, cítricos, etc.

- ✓ Permite la fertilización del cultivo junto al agua de riego con un gran control.
- ✓ El consumo de energía es mínimo.

5.7.5. Partes de un Sistema de Riego por Goteo

- Tubería principal que es la que conduce el agua hasta la terciaria.
- Filtro que tiene como función retener las partículas que trae el agua en suspensión y así evitar en cierta medida un mayor deterioro de los goteros.
- Tubería terciaria es la tubería que abastece de agua a las tuberías laterales, la terciaria atraviesan el campo de riego perpendicularmente la dirección de las hileras del cultivo.
- Los laterales son la tubería que se pone en dirección del cultivo y que abastecen de agua a los cultivos.
- Los goteros son el equipo encargado de distribuir el agua en el terreno, existen varios tipos de goteros regulares y no regulares. Los primeros tienen un dispositivo que permiten regular el goteo dentro de un determinado rango, los segundos entregan un gasto fijo en función de la presión en lo que están sometidos.
- La tubería y los goteros son PVC y polietileno.

Figura 1. Esquema de un sistema de Riego por Goteo



Fuente: Jain Irrigation

5.7.6. Las Tuberías del Sistema de Riego por Goteo Pueden Tener las Sigüientes Especificaciones

- ✓ Los diámetros de las líneas laterales oscilan entre 10 y 20 mm.
- ✓ Los diámetros de las tuberías maestras oscilan entre 25 y 75 mm.
- ✓ La presión de trabajo del gotero es de 0.7 a 1.5 atm.
- ✓ El gasto de trabajo de los goteros esta entre 1 y 60 l/hr.
- ✓ La longitud de los laterales es variable y está limitada a un valor máximo, tal que no ocasiona pérdidas mayores que el 20% ho (presión de trabajo del gotero hf lateral menor a 0.2 ho.

El riego por goteo se aplica el agua en la proximidad de las plantas, a través de un número de variables y puntos de emisión.

Los caudales de los goteros pueden ser:

- ✓ Emisores y tuberías emisoras: caudales inferiores a 16l/h.

- ✓ Difusores y micro aspersores: caudales inferiores a 200l/h; la diferencia entre difusores y micro aspersores es que estos últimos tienen movimiento de rotación y un alcance máximo 3m, mientras que los difusores no tienen movimiento de rotación.
- ✓ Cintas emisoras: para caudales inferiores a 16l/h pero con presiones de trabajo inferior a 10mca utilizadas en cultivos de marco estrecho y son sensibles a las obturaciones.

5.7.7. Componentes de Instalación del Riego por Goteo

- ✓ Impulsión
 - Grupo de bombeo, rio, pozo.
 - Depósitos.
- ✓ Cabezal de riego.
 - Pre filtrado.
 - Filtros de arena (cuando sea necesario).
 - Equipo de ferti irrigación.
 - Filtros de malla o anillos.
 - Hidrante de red colectiva a presión
 - Depósito de control.
- ✓ Red de distribución.
- ✓ Emisores.

5.7.8. Elementos del Control de Sistema de Riego por Goteo

Todos estos elementos los encontramos en el cabezal de riego

- Medidores de presión.
- Contadores volumétricos
- Electroválvulas.
- Válvulas succionadoras
- Válvulas limitadoras de caudal.
- Válvulas reguladoras de presión.

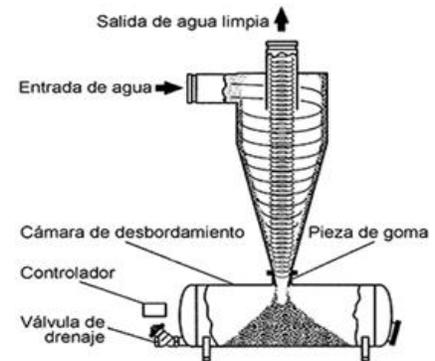
- Programadores

5.7.9. Sistema de Filtrado

✓ Filtro hidro ciclón

El hidro ciclón consiste de una parte cónica seguido por una cámara cilíndrica, en la cual existe una cámara tangencial para la suspensión de la alimentación. La parte superior del hidro ciclón presenta un tubo para la salida de la suspensión diluida y en la parte inferior existe un orificio de salida de la suspensión concentrada. El ducto de alimentación se denomina inlet, el tubo de la suspensión diluida se denomina vortex y el orificio de salida del concentrado se denomina ápex. El hidrociclón permite separar la arena y otras partículas pesadas que el agua posee, gracias a la velocidad de rotación al entrar tangencialmente en el interior del cuerpo. Como consecuencia de la fuerza centrífuga las partículas sólidas se desplazan asía la pared del cono, con una trayectoria espiral descendente por la fuerza de gravedad hasta que cae el depósito colector inferior donde se almacenan.

Figura 2. Filtro Hidro Ciclón



Fuente: (Lopez, 2020)

✓ **Filtro de malla**

La gran variedad de filtros de malla disponibles incluye versiones manuales y automáticas. Los modelos anuales se utilizan como filtración secundaria, mientras que los automáticos se utilizan como filtración primaria con aguas de buena calidad. Vienen en medidas de ¾” a 14” y pueden ser provistas en unidades simples. La instalación es simple dado que los modelos pueden ser en líneas modulares o en ángulos.

Pueden ser usados en industrias automotrices, minería, sistema de riego, etc. La principal función de este producto es filtrar lo fluidos, en nuestro caso el agua, filtra las partículas en suspensión, impureza y fertilizantes para no saturar los goteros de las cintas.

Figura 3. *Filtro de malla*



Fuente: (Lopez, 2020)

5.7.10. Red de Distribución

La red de distribución es encargada de conducir el agua desde el cabezal a las plantas y está compuesta por:

✓ **Primaria o principal**

Transporta el agua desde el cabezal de riego (bomba, filtro e inyector de fertilizante) a la línea de distribución. Normalmente de PVC y DN mayor a la secundaria.

En la intercepción de la principal con la secundaria se instalan válvulas eléctricas o manuales que permiten la entrada de agua hacia las secundarias y por consiguiente a los laterales (Pizarro, 1996).

✓ **Secundaria**

Bajo tierra, encargada de conducir el agua de la tubería principal a los laterales actuando como cabeceras de las líneas para emisor o lateral generalmente de PVC (Pizarro, 1996).

✓ **Lateral**

Es la línea que contienen los emisores generalmente de PE y DN 12,16 y 20 mm.

5.7.11. Goteros

Constituyen el tipo de emisores de riego localizado más usado. Son dispositivos fabricados en plástico que se colocan en las tuberías laterales y disipan la presión haciendo que el agua salga prácticamente sin velocidad, es decir, goteando. Trabajan a presiones próximas a 1 “kilo”. Para disipar la presión suelen tener en su interior un conducto muy ondulado o sinuoso, parecido a un laberinto (Zapata Sierra, 2012).

Según la forma en que se colocan en los laterales se tienen los goteros:

✓ Interlinea o insertados: se instalan cortando la tubería y empalmado por ambos lados.

✓ Pinchados: se colocan en un orificio previamente practicado en la tubería.

✓ Integrados: se embuten en la tubería durante su proceso de fabricación.

Dependiendo del tipo de curva de gasto del gotero, es decir, del caudal que suministra según la presión a la que esté trabajando, los goteros se denominan:

✓ Gotero no Compensante: El caudal cambia cuando varía la presión. A mayor presión el caudal que suministra es mayor.

✓ Gotero Autocompensantes: Dentro de unos límites de presión, que deben ser indicados por el fabricante, el caudal que suministra el gotero no varía. El

intervalo de presiones para el que el gotero compensa la presión se llama intervalo de compensación.

5.7.12. Régimen de Riego en el Método de Goteo

Uno de los elementos de suma importancia para la determinación, para la cantidad de agua aplicar a la planta lo constituyen la evapotranspiración del cultivo, esta no es más que la transpiración por parte de la planta y la evaporación desde la superficie del suelo que incluye agua de constitución. La misma se encuentra influenciada por el clima, el suelo, la planta. Se pueden establecer estos regímenes según las necesidades de agua y la disponibilidad (Cevallos Zambrano, 2008).

➤ Tradicional (filosofía americana)

Consiste en mantener la humedad en un rango entre capacidad de campo y límite productivo. Para lograr esto se riega el cultivo cada cierto número de días (intervalo). Con esta variante se logra un buen ahorro de agua, pero no tiene el inconveniente de que se desaproveche las instalaciones (que son fijas) durante un tiempo determinado.

➤ Diario o frecuente (filosofía israelita)

Consiste en mantener el suelo con un alto contenido de humedad (CC. o 90% de CC.) regando diariamente. Esta forma de regar permite obtener altos rendimientos del cultivo, pues mantiene al mismo en óptimas condiciones.

➤ Cálculo del régimen de riego

En función del tipo de cultivo el diámetro radicular tendrá una concepción diferente.

➤ Cultivos especiales (plátanos, frutales, cítricos etc.) en este caso los goteros deben regar el área correspondiente al círculo, raíces correspondientes a cada planta.

- Cultivos a surcos continuos (tomate, maíz, frijoles)

En este caso como el cultivo está sembrado muy próximo uno al otro, el área a regar es una franja.

En los otros métodos de riego se aplica agua a toda el área cultivada, mientras que en riego por goteo solo se riega el agua ocupada por la raíz.

5.7.13. Aplicaciones de los Riegos

Aparte de criterios relativos al diseño hidráulico del sistema (capaz de distribuir el caudal preciso y de mantener las presiones adecuadas en los goteros) y aspectos económicos (inversión inicial, desgaste y depreciación de los diversos elementos de sistema, costo de energía etc.) un aspecto fundamental se refiere a que las condiciones de humedad del suelo resultan adecuadas para el cultivo (Gurovich, 1985).

Como ya se hizo notar en el riego por goteo representa un perfeccionamiento del método de riego por surco, del que se distinguen por los siguientes aspectos específicos

- ✓ El agua, no escurre por surco no siendo necesaria una nivelación precisa y no habiendo lugar a erosión ni escorrentías.
- ✓ La aplicación de riego está controlada en cuanto a precisión y uniformidad gracias a la localización del goteo y a la precisión poco desigual de que disponen los goteros. Esto permite un ahorro de agua especialmente en suelos arenosos al reducirse la percolación. Siendo factible a la aplicación de riego muy lento y frecuente se puede evitar condiciones de humedad extrema, tanto en saturación como en sub saturación.
- ✓ Al humedecerse solo una parte de la superficie del suelo, la distribución de humedad en el espacio tiene un carácter tridimensional que depende del tiempo del caudal suministrado y de las características hidrográficas del

suelo. La filtración crea fuentes de igual humedecimientos, cuya morfología se aproximan a lo de los bulbos correspondiendo los máximos de potencial y de contenidos de humedad a la vecindad de los puntos de goteos. Los detalles varían con los condicionamientos de cada caso. El análisis de la distribución con el riego es particularmente difícil cuando se considera en conjunto un sistema Suelo-agua-planta-atmosfera y más aún cuando uno de los problemas estudiados es la distribución de sales.

Las circunstancias antes dichas justifica el recurso al empirismo para diseñar un tendido: el marco del gotero y el carácter de sus aplicaciones son definidos a una serie de pruebas experimental y a partir de una estimación que considere factores del sistema Agua-Suelo (temperatura, conductividad hidráulica en cada horizonte diferenciado, distribución de caudal y humedad durante y después del riego, interacción de goteros próximos etc.) de cultivos (marco de siembra, espacio ocupado por las raíces, sensibilidad de estas a la distribución de estas etc.) hidráulicos (gastos por goteros, duración y frecuencias de aplicaciones) (Gurovich, 1985).

Bajo condiciones definidas, es frecuente establecer con relaciones entre el crecimiento de un cultivo, su consumo hídrico la tensión en el suelo enraizado observado mediante tensiómetros y la evaporación, medida de torque. Se ha observado que el riego por goteo correctamente aplicado a una zona donde las condiciones de humedad a lo largo de cada ciclo de riego son óptimas debido a la frecuencia de aplicación no llega a desarrollarse las amplias fluctuaciones de tención total que se acepta al aplicar métodos de riegos convencionales.

Las raíces tienden a localizarse en dicha zona y al constituir un sumidero allá donde mayores son la conductividad y el potencial hidráulico. Se disminuyen las perdidas por la percolación. En cuanto la evaporación y la transpiración solicitadas por las condiciones atmosféricas, la primera queda muy limitada debido al parcial humedecimiento de la superficie del suelo. Todas estas circunstancias explican

obtenido con otros métodos por superficie y aspersión, conclusión que es alabado por números experimentadores.

La frecuencia de los riegos no supone un momento apreciable de mano de obra, mientras que da lugar junto a la referida rapidez de crecimiento a un incremento en producción. Estos son aspectos fundamentales de los métodos de riego como el goteo, puede aplicar dosis muy precisas con un sistema de distribución fija.

La capacidad de reserva de humedad utilizable en el suelo actúa fundamentalmente como apoyo por las raíces (casi como un cultivo hidropónico), la respuesta del cultivo es notable especialmente bajo condiciones de escasa retención. Cuando el suelo no es muy arenoso el intervalo puede y debe espaciarse para evitar la falta de aireación interesa destacar que, si se aplica con el agua de riego, fertilizantes solubles, estas quedan localizadas en el suelo enraizado, lo que permite su aprovechamiento eficaz y directo. Si el suelo es de escasa fertilidad la respuesta a esta práctica es también espectacular.

En cualquier caso, solo se han apreciado ventajas claras en el caso del nitrógeno. Habiéndose observado que otros elementos pueden producir problemas de desequilibrio, según los suelos, o de atascamiento en los goteros en particular el empleo de fosfatos solubles con aguas ricas en calcio o magnesio da lugar a precipitaciones de fosfato insolubles. En todo caso, los diversos fertilizantes deben ser aplicados por separado, al principio de cada riego (Gurovich, 1985).

Puesto que la variabilidad de condiciones climáticas, edáficas de cultivo estructurales económicas etc. Impide establecer una normativa general de diseños de sistemas y de aplicaciones de riego, el alcance de cualquier criterio al respecto es necesariamente restringido y las ideas que siguen deben ser interpretadas como meramente orientativas (Gurovich, 1985).

Un espaciamiento entre gotero de alrededor de 0.5mt es normal en suelos arenosos o bien estructurados y de 1mt en los suelos pesados y pocos estructurado. En cuanto a la separación de los ramales en general 1.2 a 1.8mts

depende de condiciones agro técnicas; mecanización, cultivo, costo de ramales y condiciones etc. Cabe señalar diferencias entre dos principales grupos de cultivos a que se aplica este método, hortaliza y frutales.

En el caso de hortalizas, si los goteros se distribuyen de $0.3 * 1.5$ mts y su caso unitario es de 3lts/ hr, resulta un módulo de aplicación por Ha de unos 10 litros aplicando cada 2 días de riego de $100\text{m}^3/\text{ha}$, el tiempo necesario para satisfacer la necesidad hídrica del cultivo sería de unas 2.5hrs y el consumo del orden de $1500\text{m}^3/\text{ha}$. Lo que representaría caudal unitario. Continuo de 0.55 u/ha en general en cultivos el sistema se coloca en composición una vez que la parcela ha sido preparada para la siembra o cuando está terminada.

La distancia adecuada entre el cultivo entre 0.5 y 0.3 según caudal. La franja húmeda en la superficie del suelo mediante una red de distribución puede ser variable, pero interesa notar que aumenta en el gasto incrementa horizontalmente en su zona de influencia.

VI. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

6.1.1. Según Enfoque de la Investigación

El enfoque de dicho estudio, fue de forma cuantitativa. Las variables a medir proporcionaron datos exactos, mediante métodos matemáticos. Con la solución a la problemática planteada.

6.1.2. Según el Alcance de los Resultados

El alcance de este estudio es Descriptiva, porque se describió el problema de falta del recurso agua en la comunidad para el cultivo del tomate.

6.1.3. Según el Tiempo de Ocurrencia

El Diseño del sistema de riego por goteo fue prospectivo, ya que se culminó la investigación con los resultados que se obtuvieron.

6.1.4. Según el Periodo en que se Realiza el Estudio

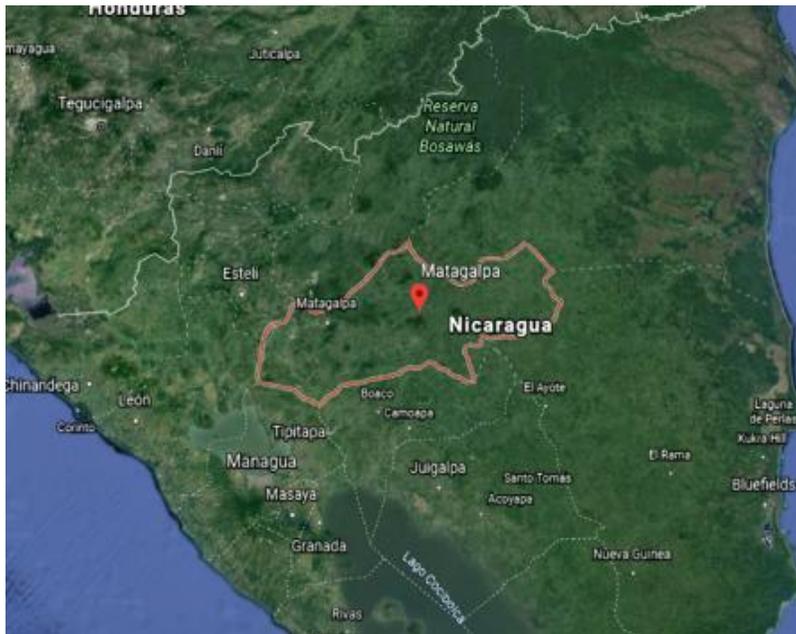
El diseño de sistema de riego por goteo se realizó llevando a cabo una serie de pasos como la recolección de las muestras de suelo, levantamiento topográfico y análisis de los resultados obtenidos, se realizó en un tiempo comprendido de marzo a mayo limitándose en el tiempo de estudio de las muestras. Por lo que la investigación es de corte transversal.

6.2. UBICACIÓN

6.2.1. Macro Localización del Proyecto

La comunidad de San Andrés, está localizada en la parte rural sur del municipio de Terrabona con coordenadas geográficas $85^{\circ}00'29''$ OESTE y $12^{\circ}44'31''$ Norte, presenta una temperatura que oscila entre 33.5°C y 37.6°C con una altura de 478 msnm, con vientos aproximados a los 8km/h y una precipitación de 615,2 mm anual.

Figura 4. *Macro Localización del Proyecto*



Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Micro localización del proyecto

El lugar del proyecto se ubica en la comuna San Andrés Municipio de Terrabona, Departamento de Matagalpa. La comunidad San Andrés queda a tan solo 98 km de la capital.

Figura 5. *Micro localización del proyecto*



Fuente: Elaboración propia

6.3. PROCESO DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

6.3.1. Visitas de Campo al Lugar de Estudio

Se realizaron cuatro visitas de campo al municipio de Terrabona, departamento de Matagalpa, para observar el lugar de estudio donde se realizó el diseño. En estas visitas se hizo el levantamiento topográfico de las parcelas en estudio y se efectuó la recolección de muestras de suelo, para llevarlas posteriormente al laboratorio de edafología de la universidad nacional de ingeniería (UNI).

6.3.1.1. Levantamiento Topográfico de la Parcela

En la segunda visita de campo se hizo uso de la herramienta GPS, se procedió a levantar el croquis del área total de la parcela, gracias a esta herramienta se calcula la pendiente del terreno, las elevaciones y posteriormente se realiza el plano geométrico de las parcelas.

6.3.1.2. Recolección de Muestras de Suelo

En la tercera visita de campo se levantaron las muestras de suelo, las cuales fueron la muestra alterada y la inalterada. Para la extracción de la muestra alterada se procedió a cortar la maleza que cubría el área de las muestras las cuales fueron 16, después con la pala se obtuvieron las muestras y se colocaron en una carpa para su homogenización y para la muestra inalterada se utilizó un cilindro de hierro de diámetro conocido y de altura conocida; después se colocó en una bolsa y se procedió a su traslado al laboratorio para su debido análisis.

6.3.2. Compilación de la Información

Se investigó en distintas instituciones del país tanto gubernamentales y privadas. Entre las gubernamentales tenemos a INETER que gracias al convenio que tiene la Universidad Nacional de Ingeniería UNI se solicitó los datos climáticos de la estación meteorológica ubicada en el municipio de San Isidro Matagalpa, la cual es la más cercana al área de estudio de la investigación. Consulta de material bibliográfico en la biblioteca Julio Buitrago del RUPAP.

Solicitud de proformas de precios actualizados de los materiales e insumos necesarios para la instalación del sistema de riego por goteo para el cultivo de Tomate en empresas de riego ubicadas en Managua como lo son AGROLOGICO y ACUATEC, y se consultó a BOMONSA por el precio de una bomba eléctrica de 3hp.

6.3.3. Determinación de las Propiedades Hidrofísicas del Suelo

Obtenidas las muestras de suelo y trasladadas al laboratorio, se procedió a realizar los ensayos de las propiedades hidrofísicas del suelo, las cuales son: capacidad de campo CC, punto de marchites permanente PMP, textura, densidad real D_r y la densidad aparente D_a .

6.4. DISEÑO AGRONÓMICO

Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia (Eto)

El cálculo de la evapotranspiración de la zona (Eto) se realiza a través del uso del programa CROPWAT, introduciendo los datos climatológicos de la estación meteorológica de San Isidro Matagalpa, la cual es la estación más cercana a la zona de estudio. Para obtener la evapotranspiración usando el programa CROPWAT 8.0 lo único que se necesita es la temperatura máxima y mínima, la radiación solar, la humedad relativa, la precipitación y la velocidad del viento.

6.4.1. Cálculo de la Evapotranspiración del Cultivo (ETc)

Para conocer la evapotranspiración del cultivo es necesario conocer la evapotranspiración de la zona (Eto) y el coeficiente de desarrollo del cultivo (Kc), el cual está establecido por la FAO para cada cultivo (Kerr Pérez & Centeno, 2012).

$ET_c = E_t \times K_c$

Dónde:

ET_c = evapotranspiración corregida (mm/día)

E_t = evapotranspiración de la zona

K_c = coeficiente del cultivo.

6.4.2. Norma Parcial de Riego

Necesidades de agua que el cultivo requiere para obtener un buen desarrollo y una buena producción, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (Kerr Pérez & Centeno, 2012).

$$N_n = 100 * D_a * p_r * (C_c - P_{mp})$$

Dónde:

N_n : norma neta (m^3/ha)

D_a : Densidad aparente (gr/cm^3)

H_r : profundidad radicular (m)

C_c : Capacidad de campo (%)

P_{mp} : Punto de marchites permanente (%)

6.4.3. Frecuencia de Riego

Intervalo de tiempo o días que deben pasar entre riegos sucesivos, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (kerr Pérez & Centeno, 2012).

$$fr = \frac{Nd}{ETc}$$

Fr = Frecuencia de riego

Nd = Necesidades diarias del cultivo

ETc = Evapotranspiración del cultivo

6.4.4. Intensidad de Aplicación

Cantidad de agua que se aplica a cada planta durante cierto tiempo y esta se calcula de la siguiente manera (kerr Pérez & Centeno, 2012).

$$Ia = \frac{Q}{Se * Ss}$$

Ia = Cantidad de agua que demanda el sistema de riego por cada uno de los goteros (mm/h)

Q = Caudal del gotero. Este dato es del fabricante (lt/hr)

Se = Separación entre el emisor (m)

Ss = Separación entre surco (m)

6.4.5. Tiempo de Riego

Tiempo que se tiene que aplicar el riego al cultivo para cumplir con las necesidades requeridas para un buen desarrollo de la planta, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (kerr Pérez & Centeno, 2012).

$$Tr = \frac{Nd}{Ia}$$

Tr = Tiempo que se aplicara el riego (hr)

Nd = Necesidades diarias del cultivo (mm)

Ia = Cantidad de agua que aplica el sistema

6.4.6. Jornada de Trabajo

Cantidad de horas que se tiene que regar en el día, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (kerr Pérez & Centeno, 2012).

$$Jr = \frac{Tr}{S}$$

Jr = Tiempo que tienen que regar en el día

Tr = Hora que se aplican el riego en cada sector

S = números de sectores a regar

6.4.7. Sectores de Riego

Este cálculo se da dividiendo el caudal requerido de toda el área de trabajo entre el caudal la fuente de agua nos ofrece; si este resultado es menor que uno, solo será un sector, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (kerr Pérez & Centeno, 2012).

$$\text{Sectores;} \frac{Q_{\text{Requerido}}}{Q_{\text{Disponible}}}$$

Dónde:

$Q_{\text{requerido}} = \text{gpm}$

$Q_{\text{disponible}} = \text{gpm}$

6.5. DISEÑO HIDRÁULICO

6.5.1. Diseño de la Tubería Lateral

➤ Tolerancia de caudales

Relación entre el caudal de los goteros, entre el primer y último emisor del lateral, este resultado no debe ser inferior al coeficiente de uniformidad propuesto, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (Pizarro, 1996).

$$qm: \frac{Cu * qa}{100 \left(1 - \frac{1.27 * cv}{\sqrt{e}} \right)}$$

Dónde:

Cu : eficiencia de uniformidad del sistema de riego.

Qa = Caudal gotero.

Cv = coeficiente de variación del gotero los fabricantes informan que es 0.03

e = número de emisores por metro cuadrado.

➤ **Tolerancia de Presiones**

La tolerancia de presión en la subunidad de riego es la diferencia de presiones media y ultima de la subunidad, multiplicado por un factor M que da los diámetros a utilizar en la subunidad. Se calcula con la siguiente ecuación (Pizarro, 1996).

$$\Delta Ni: m(ha - hms)$$

Dónde:

ΔNi : Tolerancia de presión.

Mm: tolerancia de presión

ha: presión media del lateral.

hm: presión mínima

➤ **Numero de goteros en el lateral**

Es la división de la longitud del lateral entre la distancia entre gotero, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (Pizarro, 1996).

$$n: \frac{l}{se}$$

Dónde:

L: longitud de lateral

Se: distancia entre goteros

➤ **Caudal del lateral**

Está en función del número de goteros que se encuentra en la longitud del lateral y el caudal del gotero, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (Pizarro, 1996).

$$ql = n * qa$$

Donde

ql: Caudal del lateral (l/h)

n: número de goteros

qa: caudal del gotero (l/h)

➤ **Pérdida de carga unitaria en el lateral**

Se utiliza las ecuaciones para tubería lisa que es como se considera el flujo en riego por goteo y se expresa de la siguiente manera, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (Pizarro, 1996).

$$j = 0.355 \frac{ql^{1.8}}{d^{4.8}}$$

Donde

j: Perdida de carga unitaria (mm)

ql: caudal del lateral (l/h)

d: diámetro interno de la manguera de gotero (mm).

➤ **Corrección de pérdidas de carga**

La conexión de cada gotero produce una pérdida de carga por lo tanto utilizamos la siguiente ecuación (Pizarro, 1996).

$$j' = j \left(\frac{se + fe}{se} \right)$$

Dónde:

j' : corrección de pérdida unitaria (mm)

fe : Longitud equivalente al lateral (m).

se : Espacio entre gotero (m)

➤ **Pérdida de carga en el lateral**

El lateral es una tubería con salidas múltiples e igualmente espaciada, donde extrae el mismo caudal; se hace necesario multiplicar las pérdidas de carga por el factor de Christiansen para poder calcular las pérdidas del lateral, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (Pizarro, 1996).

$$hf = j' \times f \times l$$

Donde

J : corrección de pérdidas (mm)

f : Coeficiente de Christiansen, definido en función de las salidas

l : longitud del lateral (m)

➤ **Condición del diseño del lateral**

La tolerancia de presiones en el lateral es igual a la presión inicial menos la presión final y se define como (Pizarro, 1996).

$$h = h_m - h_n$$

Entonces

$$h_m - h_n = t' * h_f$$

t'(Adimensional) = Relación entre desnivel y pérdidas por fricción

Desnivel d, con la longitud del lateral

$$d = l \times i$$

Donde

L: longitud de lateral

I: factor de corrección de la pendiente

➤ **Presión a la entrada del lateral**

La presión a la entrada del lateral esta relacionada con la presión media del lateral, más 0.733 de las pérdidas por fricción más o menos un medio del desnivel del terreno, esta expresado con esta ecuación (Pizarro, 1996).

$$h_m = h_a + 0.733h_f + \frac{d}{2}$$

Donde

Ha: Perdida media del lateral (mt)

Hf: Perdida de carga del lateral (m)

d: desnivel del terreno (m)

➤ **Presión mínima del lateral**

En los laterales de riego, las presiones se analizan dependiendo del desnivel del terreno. Este cálculo se realiza tomando en cuenta el desnivel y las pérdidas por fricción, para el cálculo se utilizara la siguiente ecuación (Pizarro, 1996).

$$h_n: h_m - t * h_f$$

Donde

h_n: Presión mínima del lateral (m)

h_m: Presión a la entrada del lateral (m)

h_f: Perdida de carga del lateral

6.5.2. Diseño de la Tubería Terciaria

➤ **Numero de laterales**

Numero de laterales que están conectados a la terciaria esto se toma para cada tramo a través de la siguiente relación (Pizarro, 1996).

$$N: \frac{l}{S}$$

Dónde:

l: longitud de la terciaria (m)

S: separación entre lateral (m)

➤ **Caudal de la terciaria**

Está definido por el número de laterales y el caudal de cada lateral. Se define con la siguiente formula (Pizarro, 1996).

$$Q_t = n \times q_l$$

Dónde:

n: número de laterales

Ql: caudal del lateral.

➤ **Cálculo del diámetro de la terciaria**

Este dado por el caudal total de la suma de los laterales y por la velocidad con que fluye el agua a través de la tubería, se obtiene a través de la siguiente ecuación (Pizarro, 1996).

$$D = 2 \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot V}}$$

Dónde:

Q: caudal l/h

Nota: La velocidad máxima que se puede utilizar en tuberías de conducción de agua es 1.5 m/s²

➤ **Pérdida de carga unitaria de la terciaria**

Las pérdidas en la terciaria presentan un comportamiento análogo al de los laterales por lo cual emplearemos la misma ecuación (Pizarro, 1996).

$$j = 0.355 \left(\frac{q_t^{1.8}}{d^{4.8}} \right)$$

Dónde:

d: diámetro de la tubería mm

Qt: caudal del lateral l/h.

➤ **Corrección de pérdidas de carga unitaria por conexión de laterales**

Conectar cada lateral produce una pérdida de carga, esta se expresa como longitud equivalente de la conexión del lateral, y esto se calcula con la ecuación (Pizarro, 1996).

$$j' = j \left(sl + \frac{fl}{sl} \right)$$

Donde

j: Perdida de carga unitaria mm.

sl: separación entre lateral m.

fl: Longitud equivalente a la distancia de la terciaria m.

➤ **Pérdida de carga en la terciaria**

La tubería con salidas múltiples se utiliza el coeficiente de Christiansen por lo cual lo utilizaremos la siguiente ecuación (Pizarro, 1996).

$$H_f: J' * f * L$$

Donde

Hf: perdida de carga d la terciaria (m).

J': Perdida de carga unitaria mm.

l: Longitud de la terciaria (m).

➤ **Condición de diseño para la terciaria**

Esa se encuentra de la siguiente manera.

$$\Delta H = H_m - H_n$$

$$H_m - H_n = H_f + d$$

Donde d es el desnivel del terreno, se define como la longitud por pendiente

$$d = l * i$$

i: Valor de la pendiente

L: longitud de la terciaria m

➤ **Presión a la entrada de la terciaria**

Es la presión necesaria que la tubería principal debe suministrar a la entrada de las válvulas para que el sistema funcione correctamente, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (Pizarro, 1996).

$$h_m = h_a + 0.733h_f + \frac{d}{2}$$

Dónde:

H_m: presión a la entrada del lateral

H_a: presión media a la entrada del lateral

H_f: pérdida de carga en la terciaria m

d: desnivel del terreno m

6.5.3. Diseño de la Tubería Conectora (Principal)

➤ Cálculo del diámetro de la principal

Para obtener este dato se necesita conocer el caudal de diseño del sector que se va a regar y la velocidad que se transporta el agua. La velocidad del agua que viaje en tubería para el agua es de 1.5 m/s, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (Giles, 1991).

$$d = 2 \sqrt{\frac{q}{\pi * v}}$$

Donde

q: caudal que pasa por la tubería principal m³/s

V: Velocidad del agua m/s

La máxima velocidad del agua para un sistema de riego debe ser de 1.5 m/s

➤ Pérdida de carga en la principal

Son las perdidas ejercidas por la fricción que genera la rugosidad de la tubería, con un coeficiente de rugosidad de 150 para tubería de pvc, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (Giles, 1991).

$$HF = 10.634 \times \left(\frac{q^{1.852}}{c^{1.852} * d^{4.871}} \right) * l$$

Dónde:

HF: perdida en la tubería principal

q: el caudal en la tubería principal m³/s

c: coeficiente de rugosidad de la tubería.

d: diámetro de la tubería mm

L: longitud de la tubería principal (m)

6.5.4. Pérdidas de Cargas Totales

Es la sumatoria de todas las pérdidas desde la toma de agua hasta el último emisor del sistema; tenemos tres tipos de pérdida, pérdidas en el lateral que esta necesita una presión mínima de trabajo para que la cinta de gotero realice su función, esta presión está reflejada en metros columna de agua. Pérdidas en la principal esta se da por la fricción de la tubería y accesorios más la presión mínima de trabajo requerida por la cinta de riego. La pérdida en la principal se determina por la fricción que el agua ejerce sobre la tubería y por los accesorios (Pizarro, 1996).

$$hf = hf_{principal} + hf_{lateral} + hf_{de\ la\ terciaria}$$

6.5.5. Determinación de la Carga Total Dinámica

➤ **Cálculo de la carga de bombeo de agua**

Antes de determinar el tamaño de un sistema de bombeo de agua es necesario entender los conceptos básicos que describen las condiciones hidráulicas de una bomba. El tamaño del sistema está en relación directa con el producto de la Carga Dinámica Total (CDT) y el volumen diario de agua. Este producto se conoce como ciclo hidráulico. La carga dinámica total es la suma de la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD) (Giles, 1991).

$$CDT = CE + CD = (\text{Nivel estático} + \text{altura de la descarga}) + (\text{abatimiento} + \text{fricción} + \text{pérdidas locales})$$

➤ **Carga estática (CE)**

La primera parte, la carga estática puede obtenerse con medidas directas. Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel del espejo de agua antes del abatimiento del pozo hasta la altura donde se descarga el agua. La carga

estática es entonces la suma del nivel estático y la altura de la descarga (Giles, 1991).

➤ **Carga dinámica (CD)**

Todos los pozos experimentan el fenómeno de abatimiento cuando se bombea agua. Es la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante de extracción. La carga dinámica, es el incremento de las pérdidas causada por la resistencia al flujo de agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos, válvulas, filtros, etc. Esta rugosidad depende del material usado en la fabricación de las tuberías y accesorios. Los tubos de acero producen una fricción diferente a la de los tubos de plástico PVC de similar tamaño. Además, el diámetro de los tubos influye en la fricción. Mientras más estrechos, mayor resistencia producida (Giles, 1991).

➤ **Calculo de la capacidad de la bomba**

La capacidad de la bomba es la potencia necesaria para succionar el agua y elevarla hasta el punto crítico de diseño, para el cálculo se aplicara la siguiente ecuación (Giles, 1991).

$$HP = \frac{Q * CTD}{3900} x eficiencia$$

Dónde:

Q: caudal del pozo en gpm

CTD: Carga total dinámica en pies

3960: Constante

Eficiencia: Eficiencia de la bomba en %

6.6. DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Mediante el levantamiento topográfico y el diseño geométrico de la parcela se obtiene las dimensiones exactas del terreno, y posteriormente se procede a realizar el diseño hidráulico y diseño geométrico donde se da conocer la cantidad de cinta de gotero que se va a utilizar, la cantidad de tubos PVC necesario para el proyecto, y los accesorios para la instalación del sistema.

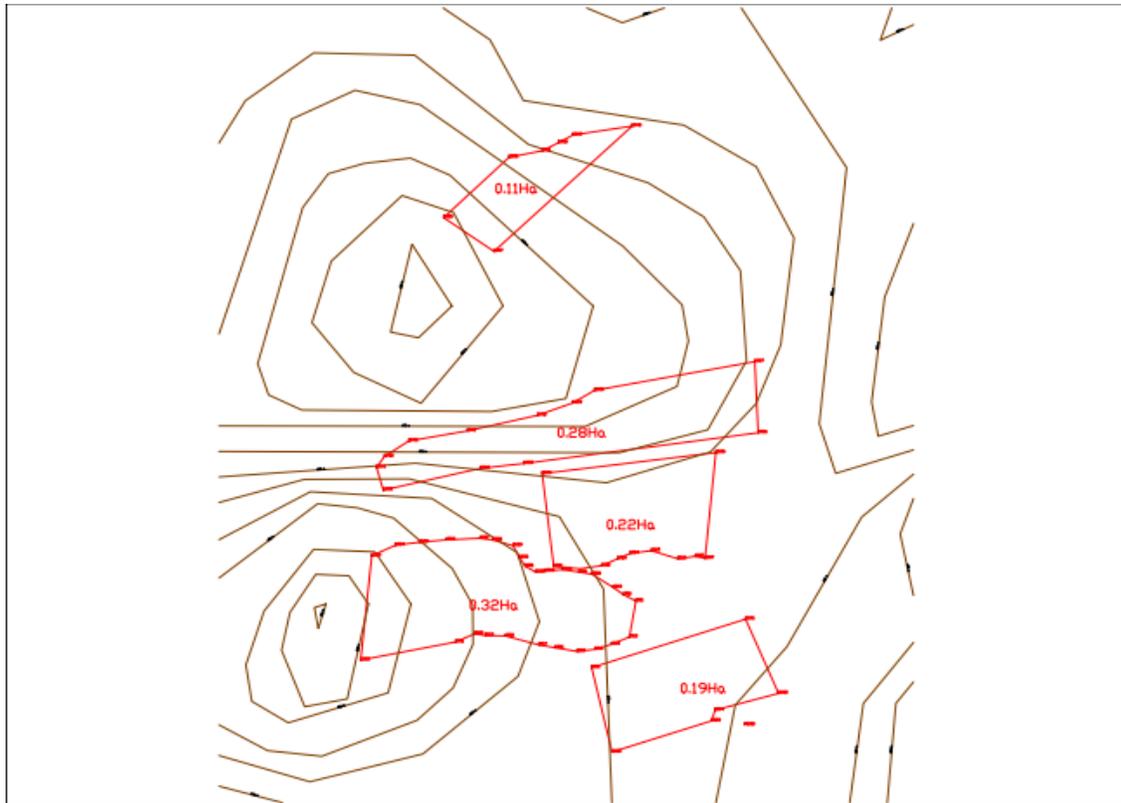
Se visitó diferentes casas comerciales como ACUATEC, TECNORIEGOS y AGROLOGICO, etc. Estas empresas ofrecen una gran gama de accesorios de sistemas de riego a los grandes y pequeños agricultores, y así se obtuvo la cotización de cada uno de los accesorios que se necesita el sistema.

VII. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

7.1. RESULTADOS DE LA TOPOGRAFÍA DEL ÁREA DEL PROYECTO

En el siguiente mapa se presenta la topografía de las parcelas a través de la representación de las curvas de nivel que muestran las características del terreno, aquí se encuentra la depresiones y elevación lo cual ayuda al cálculo de las pendientes de los laterales, la pendiente de la terciaria y lo más importante obtener el punto crítico que el sistema de bombeo debe vencer para realizar su trabajo.

Figura 6. *Relieve de la parcela en estudio*



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la imagen, la topografía de la zona del proyecto es relativamente plana con una pendiente 1% que va de norte a sur, en el caso de los laterales, para la tubería de la terciaria que van en dirección de este a oeste la pendiente es de 0.25%, y el punto más alto a vencer de la bomba es de 5 metros de diferencia de nivel entre la bomba y el punto crítico.

7.2. RESULTADOS DE PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DEL SUELO

Para realizar un diseño de riego uno de los puntos básicos para comenzar es conocer el comportamiento del agua con el suelo y la planta, como todos sabemos relación agua-suelo-planta. Se necesita estar al corriente de qué tipo de suelo se tiene en la finca para percibir si la planta tiene buen desarrollo en él, también debemos estar al tanto de la capacidad de almacenamiento de agua que el suelo posee y el tiempo que este líquido se encuentra disponible para el cultivo. En la siguiente tabla se refleja en resultado de las propiedades hidrofisicas que el suelo posee.

Tabla 3. *Propiedades hidrofisicas del suelo*

Cc (%)	Pmp (%)	Da (gr/cm ³)	Dr (gr/cm ³)	Textura de bouyoucos		
				Ar %	L %	A %
Tomate						
						Franco
35.75	21.46	1.21	2.93	35.86	35.8	28.34

Fuente: Elaboración propia

➤ **Capacidad de Campo (CC)**

La capacidad de campo es la propiedad que posee el suelo para retener el agua; esta se representa en porcentaje, en el estudio se obtuvo un valor de 35.75% el cual se representa como alta, lo que indica que el suelo tiene muy buena capacidad de retención.

➤ **Punto de Marchites Permanente (PMP)**

El punto de marchites permanente es el agua que queda en el suelo, en una zona en el cual las plantas no pueden adsorber esta agua y las plantas comienzan a presentar estrés hídrico, esta se expresa en porcentaje. El resultado obtenido fue

de 21.46 % el cual se le considera como media; este dato se le resta a la CC y se obtiene el agua útil ósea lo que la planta puede absorber.

➤ **Densidad Aparente (Da)**

La densidad aparente (Da) refleja el comportamiento dinámico de la estructura y la porosidad del suelo que varían por los agentes internos y externos como la compactación y la dispersión de partículas. La densidad aparente se obtiene dividiendo el peso de suelo seco entre el volumen conocido de este. En el ensayo, la densidad aparente proporcionó un resultado de 1.21 gr/cm^3 , la cual se considera como media.

➤ **Densidad Real (Dr)**

La densidad real es la relación entre la masa del suelo seco y la masa de igual volumen de agua. Este valor depende de las sustancias orgánicas y minerales integrados en el suelo; entre más humos posea el suelo menor será la densidad real. El resultado obtenido de la densidad real es de 2.93 gr/cm^3 , lo que señala un suelo donde hay predominio de hierro y aluminio y muy poca materia orgánica.

➤ **Textura del Suelo (Método del hidrómetro de Bouyoucos)**

La textura del suelo está basada en diferentes combinaciones de arena, limo y arcilla que integran la distribución del tamaño de partículas en una muestra de suelo. El procedimiento utilizado para la investigación de la textura del suelo fue el método del hidrómetro de Bouyoucos. El resultado del ensayo fue de 28.34% de arena, 35.8% de limo y 35.86% de arcilla, proporcionando como resultado un suelo franco; óptimo para el desarrollo radicular de las plantas.

7.3. RESULTADO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Para continuar con el diseño es de suma importancia tomar en cuenta las características climatológicas de la zona de estudio. El cultivo está sometido a precipitaciones, viento, sequía, e intensidad de luz solar, todos estos aspectos son un reto a vencer para el desarrollo del cultivo.

Los factores climáticos como el viento, la intensidad de luz solar y la alta temperatura extraen la poca agua que el suelo y las plantas poseen, a este proceso se le conoce como evapotranspiración. Para compensar el agua que se pierde por la evaporación y transpiración se debe regar, en zonas como el corredor seco de nuestro país la precipitación no compensa el agua que se pierde en este proceso de evapotranspiración.

La FAO es un pionero en el diseño de sistemas de riego, desarrollo un programa llamado CROWAP 8.0 el cual permite calcular la evapotranspiración de una determinada zona con la ayuda de los datos meteorológicos del área de estudio. En el país quien facilita esos datos es la Institución Nacional de Estudios Territoriales INETER (Nota: Ver anexo de la página ii a la vi).

En la siguiente tabla se manifiesta el resumen de los datos meteorológicos que INETER facilitó para realizar el diseño, las ultima dos columnas que le pertenecen a la radiación solar y a la evapotranspiración se obtienen introduciendo los datos anteriores al programa CROWAP 8.0. En el estudio el dato más impórtate es el da la evapotranspiración, hay que tomar el mayor el cual es de 4.2 mm/día que le pertenece al mes de abril, en este mes la planta tendrá mayor necesidad de agua. Este dato, multiplicado por el factor de crecimiento del tomate da el punto crítico.

Tabla 4. Datos climatológicos

Mes	Temp. Min.	Temp. Max.	Humedad	Viento	Horas sol	Rad	Eto
	°C	°C	%	Km/día	Horas	MJ/m/día	Mm/día
Enero	16.65	31.08	65.75	2.95	8.83	19.4	3.2
Febrero	15.78	33.35	64	2.8	8.93	21.1	3.69
Marzo	16.2	34.08	61.75	2.8	9.13	22.9	4.16
Abril	17.15	32.53	65.5	2.13	8.5	22.6	4.2
Mayo	17.03	34.08	74.5	1.6	5.7	18.2	3.66
Junio	16.68	32.53	76.75	1.7	5.8	18.1	3.61
Julio	17	31.6	69.75	2.2	6.35	19	3.64
Agosto	16.95	32.1	74	2	7.13	21.2	4.05
Septiembre	16.08	32.55	79	1.8	7.08	19.9	3.84
Octubre	15.78	32.3	83.5	1.21	5.4	16.3	3.17
Noviembre	16.28	30.73	74.75	2.13	2.93	11.6	2.25
Diciembre	16.23	30.73	68.5	2.93	1.88	9.7	1.89

Fuente: Elaboración propia

7.4. DISEÑO AGRONÓMICO DEL SISTEMA DE RIEGO

7.4.1. Datos de entrada

- ✓ Eto máxima del cultivo es en el mes de Abril 4.2 mm/día
- ✓ Suelo Franco
- ✓ Cultivo Tomate
- ✓ Área total 11200 m²
- ✓ Marco de plantación 0.30x1.5 m

Área = 1.12 hectáreas o 11200 m² (en total son 5 parcelas, con medidas de sus linderos muy irregulares) esta es el área a utilizar para realizar el estudio el cual se divide en cinco parcelas con un espaciamiento entre lateral de 1.5 m y 0.30 m entre gotero para una población de 26666 planta en total.

La longitud del lateral varía de acuerdo con la parcela, así como también la distancia de la terciaria. El caudal del gotero es de = 1.2 l/h = 4.44x10⁻⁷ m³/s, el terreno es semi plano con una pendiente de 0.01 en los laterales, el suelo = Franco, la capacidad de campo es CC = 35.75%, el punto de marchites permanente PMP = 21.46%, la densidad aparente Da = 1.21 gr/ cm³, esto fue el resultado de las muestras de suelo en el lugar del estudio, los cuales fueron llevadas al laboratorio de suelo de la Universidad de Nacional de Ingeniería (UNI) los cuales brindaron los resultados ya expuestos.

Necesidades de agua de la planta: El sistema de riego por goteo a diseñar deberá satisfacer al más alto consumo de agua que pueda darse en un cultivo.

Los requerimientos de agua son determinados partiendo de la evapotranspiración (Eto) en (mm/día). A partir del dato evapotranspiración se eligen el más desfavorable, es decir el mes con mayor evapotranspiración. Las necesidades diarias de la planta deben ser corregidas por los siguientes factores. Factor del cultivo (Kc); es propio de cada cultivo y varia con las fases de desarrollo vegetativos de los cultivos.

7.4.2. Calculo de la evapotranspiración (Etc)

Este dato es obtenido a través de INETER-Nicaragua ya que proporcionan la información de la estación meteorológica de la zona luego obtenido los datos utilizados en el programa CROPWAT 8.0 para obtener el valor de Eto = 4.20 mm/día por el coeficiente de desarrollo del cultivo (Kc).

Calculo de la evapotranspiración del cultivo

$$ETc = ETo * Kc$$

$$ETc = 4.20 \frac{mm}{día} * 1.10 = 4.62 mm/día$$

Nota: Coeficiente del cultivo Kc, ver tabla de coeficiente de desarrollo del cultivo página 19.

7.4.3. Norma Parcial de Riego

Es la lámina que se debe aplicar para llevar el suelo a capacidad de campo, y tener agua para que las plantas puedan extraer del suelo a través de sus raíces.

$$Lr = (Da * Pr(Cc - Pmp)) * 100$$

$$Lr = \left(\frac{1.21gr}{cm} * 0.4mt(35.75 - 21.46) \right) * 100 = 6.92mm$$

Nota: Propiedades hidrofísicas del suelo, ver tabla en la página 57.

7.4.4. Frecuencia de Riego

$$FR = \frac{Lr}{Etc}$$

$$FR = \frac{6.92mm}{4.62mm/día} = 1.5día \approx 1día$$

7.4.5. Intensidad de Aplicación

$$IA = \frac{Q}{SexSs}$$

$$IA = \frac{1.2lt/hr}{0.3 * 1.5} = 2.66 mm/hr$$

7.4.6. Tiempo de Riego

$$Tr = \frac{Lr}{IA}$$

$$Tr = \frac{6.92mm}{2.66mm/hr} = 2.6 \approx 3hr$$

7.4.7. Jornada de Trabajo

$$Jr = TrxS$$

$$Jr = 3 \text{ hr} \times 2 = 6 \text{ hr}$$

7.4.8. Cálculo del Sector de Riego

$$Sectores = \frac{Q_{requerido}}{Q_{disponible}}$$

$$Sectores = \frac{131.5 \text{ gpm}}{68.95 \text{ gpm}} = 1.9 \text{ sectores}$$

El caudal disponible es menor que el caudal requerido por lo tanto se tiene que dividir el área de trabajo en dos sectores de riego de acuerdo al resultado obtenido.

Nota: Ver tabla de aforo en página 74.

7.4.9. Cálculo del Área y Caudal de Cada Sector

➤ Sector 1:

$$5400\text{m}^2/1.5\text{m}=3600\text{m}$$

$$3600/0.3 \text{ m}=12000\text{goteros} \times 1.2\text{lbs/hora} = 14400 \text{ l/h} = 63.4 \text{ gpm}$$

➤ sector 2:

$$5800\text{m}^2/1.5\text{m}=3867\text{m}$$

$$3867\text{m}/0.3\text{m}=12890 \text{ goteros} \times 1.2\text{lbs/hora} = 15468 \text{ l/h} = 68.10 \text{ gpm}$$

El área de diseño se dividió en dos partes casi equitativa porque la demanda de toda el área no era sustentada por el caudal que el pozo ofrece. El primer sector tiene un área de 0.58 ha con un caudal de 15468 l/hr y el segundo sector posee un área de 0.54 ha con un caudal de 14400 l/hr.

Para el diseño hidráulico se trabajara con el segundo sector porque es el que requiere el mayor caudal para así obtener la potencia de la bomba necesaria para vencer el punto crítico del sistema.

7.4.10. Resumen del Diseño Agronómico

El diseño agronómico es uno de los principales pasos para realizar un diseño de riego eficiente, proporciona los datos primordiales como es la cantidad de agua que necesita el cultivo, el tiempo de riego y la frecuencia de riego, conociendo estos datos se puede utilizar cualquier sistema de riego para satisfacer esta necesidad ya sea por gravedad, goteo o aspersión.

En la tabla 5, se reflejan los cálculos del diseño agronómico, la cantidad de agua que pierde el cultivo por la evapotranspiración y la cantidad de agua que se debe aplicar para compensar esa perdida, además se refleja la secuencia de riego y el tiempo de riego.

Tabla 5. *Diseño agronómico*

Evapotranspiración potencial	4.2 mm/día
Evapotranspiración del cultivo	4.62 mm/día
Necesidades diarias de las plantas	6.92 mm
Frecuencia de riego	1 día
Tiempo de riego	3 horas
Numero de sectores	2
Jornada de trabajo	6 hr
Número de plantas	24889 plantas
Numero de gotero por planta	1
Numero de laterales	311

Fuente: Elaboración Propia

7.5. DISEÑO HIDRAULICO

✓ Tipo de gotero	De cinta
✓ Caudal del gotero	1.2 l/h
✓ Espaciamiento entre planta	0.3 m
✓ Separación de gotero	0.3 m
✓ Espaciamiento de lateral	1.5 m
✓ Longitud del lateral	Varia según la parcela
✓ Presión del gotero	10 psi
✓ N° de goteros/ planta	1 gotero / planta
✓ Coeficiente de variación(cv)	0.03
✓ Numero de goteros/m ² (e)	2 goteros

7.5.1. Diseño de la Tubería Lateral

➤ Tolerancia de caudales

$$q_{n1} = \frac{Cu * qa}{100 \left(1 - \frac{1.27 * cv}{\sqrt{e}} \right)}$$

$$q_{n1} = \frac{90 * 1.2}{100 \left(1 - \frac{1.27 * 0.03}{\sqrt{2}} \right)} = 1.11 \text{ lt/hr}$$

$$TC = \frac{1.11 \text{ lt/hr}}{1.2 \text{ lt/hr}} = 0.93$$

Se calcula la presión media ha y mínima hns

$$h_a = \left(\frac{1.2 \text{ lt}}{0.546} \right)^{\frac{1}{0.48}} = 5.16, m$$

$$h_{ns} = \left(\frac{1.11 \text{ lt}}{0.546} \right)^{\frac{1}{0.48}} = 4.12 m$$

Por lo tanto $\frac{q_{n1}}{q_a} = 93\% > 90\%$ lo cual indica que la tolerancia de caudal es mayor que el coeficiente de uniformidad por lo cual cumple que no debe de ser inferior a CU propuesto.

➤ **Tolerancia de presiones**

Esta tabla se usa para encontrar la constante M

Tabla 6. Constante M

Diámetro a emplear en la instalación	M
Diámetros constantes	4.3
2 diámetros	2.7
3 diámetros	2.0

Fuente: Manual práctico para el diseño de sistema de minirriego (Ing. Julián Carrazón; FAO 2007)

$$\Delta Ni: m(h_a - h_{ms})$$

$$\Delta Ni: 2(5.16 - 4.47) = 1.38 mt$$

➤ **Numero de goteros en el lateral (Parcela n° 1)**

$$n: \frac{l}{se}$$

$$n: \frac{67.88}{0.3} = 226.27$$

➤ **Caudal del lateral**

$$q_l = n * q_a$$

$$q_l = 226.27 * 1.2 \frac{l}{hr} = 271.52 \text{ l/hr}$$

➤ **Pérdida de carga unitaria en el lateral**

$$j = 0.355 \frac{q_l^{1.8}}{d^{4.8}}$$

$$j = 0.355 \frac{(271.52)^{1.8}}{(16)^{4.8}} = 0.014 \text{ mt}$$

➤ **Corrección de pérdidas de carga**

En la siguiente tabla se refleja la longitud equivalente de la cinta según su diámetro. Tomando el diámetro interno de 16 mm, longitud equivalente es de 0.08

Tabla 7. Longitud equivalente de la cinta de gotero

Diámetro interno Frecuentes (mm)	Grande	Estándar	Pequeño
10.3	0.32	0.24	0.10
13.2	0.20	0.15	0.11
16.0	0.14	0.11	0.08

Fuente: Simulación de Gradiente Hidráulico en las Líneas Laterales de Riego por Goteo (Ing. Joel Hernández; Universidad Autónoma Agraria México)

$$J' = j \left(\frac{se \pm fe}{se} \right)$$

$$J' = 0.014 \left(\frac{0.3 \pm 0.08}{0.3} \right) = 0.18 \text{ m/m}$$

➤ **Pérdida de carga lateral**

$$hf = j' \times f \times l$$

Nota: El valor f para más de 200 salidas a lo largo del lateral para una tubería lisa con un número $n = 1.75$, es de 0.36; ver tabla de Christiansen en anexos página ix.

$$hf = 0.18 * 0.36 * 67.88 = 0.43\text{m/m}$$

➤ **Condición del diseño del lateral**

$$h = h_m - h_n$$

$$h_m - h_n = d * hf$$

Definido el desnivel d, con la longitud del lateral. El terreno es relativamente plano con un desnivel de 0.01.

$$d = l \times i$$

$$d = 67.88 \times (-0.01) = -0.679\text{m}$$

$$\frac{d}{hf} = \frac{-0.679}{0.43}$$

$$\frac{d}{hf} = 1.58$$

$$t' = 0.15$$

Tabla 8. Factor t' en función de la pendiente del terreno

Dd/s	Tt'	Dd/s	Tt'
-0.0	1.00	-1.4	0.21
-0.1	0.91	-1.5	0.17
-0.2	0.83	-1.6	0.15
-0.3	0.75	-1.7	0.12
-0.4	0.68	-1.8	0.10
-0.5	0.62	-1.9	0.08
-1.1	0.31	-2.0	0.06
-1.2	0.28	-2.1	0.04
-1.3	0.24	-2.2	0.03

Fuente: Manual Práctico para el Diseño de Sistema de Mini Riego (Ing. Julián Carrazón; FAO 2007)

➤ **Presión a la entrada del lateral**

$$hm = ha + 0.733hf - \frac{d}{2}$$

$$hm = 5.16 + 0.733(0.43) - \frac{0.68}{2} = 5.14 \text{ m}$$

➤ **Presión mínima del lateral**

$$hn: hm - t * hf$$

$$hn: 5.14 - (0.15 * 0.43) = 5.08 \text{ m}$$

7.5.2. Diseño de la Tubería Terciaria

➤ **Numero de laterales**

$$N: \frac{l}{s}$$

$$N: \frac{45.59}{1.5} = 30$$

➤ **Caudal de la terciaria**

$$Q_t = n \times q_l$$

$$Q_t = 30 * 271.52 = 8145.6 \text{lt/hr}$$

➤ **Cálculo del diámetro de la terciaria**

$$D = 2 \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot V}}$$

$$D = 2 \sqrt{\frac{2.26 \times 10^{-7}}{3.14 * 1.5}} = 0.044 \text{m} = 4.4 \text{cm} = 1.73 \text{pulg} \cong 2 \text{pul}$$

➤ **Resumen de los caculos realizados por cada parcela**

El área total es de 1.12 ha, la cual está conformada por 5 parcelas. A cada una de estas parcelas se le calculo su caudal, las pérdidas del lateral y la presión mínima que necesitan para que el sistema pueda funcionar eficientemente

En la siguiente tabla se refleja el resumen de todos los cálculos realizados para las 5 parcelas, esto ayudara a elegir cual es el punto crítico en el diseño del lateral.

Tabla 9. Resumen de pérdida de carga

Nº de parcela	Q lateral (l/m)	Perdida de carga (m)	Presión a la entrada del lateral (m)	Presión mínima (m)	Caudal de la terciaria (l/hr)	Diámetro de la terciaria (pulg)
1	271.52	0.43	5.14	5.08	8145.6	2
2	106.48	0.038	5.1	5	9796	2
3	153.28	0.083	5.03	5.02	9630.1	2
4	166.88	0.12	5.04	5.03	11681.6	2
5	132	0,004	5.05	5.04	7260	2

Fuente: Elaboración propia

- El primer sector está compuesto por las parcelas 1,2 y 5 con un área total de 5800 m² con un caudal máximo de 15466.66 l/hr
- el segundo sector comprende las parcelas 3 y 4 dándonos un total de 5400 m² con un caudal total de 14400 l/hr.

Para calcular la pérdida de carga unitaria en la terciaria se utilizó el caudal del sector 1 ya que es el mayor que el caudal del sector 2.

➤ **Pérdida de carga unitaria de la terciaria**

$$j = 0.355 \left(\frac{qt^{1.8}}{d^{4.8}} \right)$$

$$j = 0.355 \left(\frac{(15466.66)^{1.8}}{50^{4.8}} \right) = 0.086mt$$

➤ **Corrección de pérdidas de carga unitaria por conexión de laterales**

$$j' = j \left(sl + \frac{fl}{sl} \right)$$

$$j' = 0.086 \left(1.5 + \frac{0.05}{1.5} \right) = 0.132$$

➤ **Pérdida de carga en la terciaria**

$$Hf: J' * f * L$$

Nota: El valor f: 0.359 para 92 salidas a lo largo de la terciaria para tubería PVC, por lo tanto n: 1.80 ver tabla de Christiansen en anexo página ix.

n = 1.80, para PVC

$$Hf: 0.132 * 0.359 * 138.46 \text{ mt} = 6.56 \text{ mt}$$

➤ **Desnivel del terreno**

$$d = l * i$$

Pendiente.

Distancia: 100 m

$$\Delta h = 25 \text{ cm}$$

$$p = \frac{\Delta h}{d}$$

$$p = \frac{0.25}{100} = 0.0025$$

$$d = 138.46 * (-0.0025) = 0.346 \text{ mt}$$

➤ **Presión a la entrada de la terciaria**

$$hm = ha + 0.733hf + \frac{d}{2}$$

$$hm = 5.14 + 0.733(6.5) - \frac{0.346}{2} = 9.73 \text{ m}$$

7.5.3. Diseño de la Tubería Conectora (Principal)

➤ Cálculo del diámetro de la principal

$$d = 2 \sqrt{\frac{q}{\pi * v}}$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{4.29 \times 10^{-3}}{3.14 * 1.5}} = 0.060 \text{ m}$$

Diámetro = 0.060 m = 6 cm = 2.36 pulg \approx 3 pulg

➤ Pérdida de carga en la principal

$$hf = 10.634 \times \left(\frac{q^{1.852}}{c^{1.852} * d^{4.871}} \right) * l$$

$$hf = 10.634 \times \left(\frac{4.29 \times 10^{-3}^{1.852}}{150^{1.852} * 0.075^{4.871}} \right) = 7.1 \text{ m}$$

7.5.4. Pérdidas de Cargas Totales

$$hf = hf_{\text{principal}} + hf_{\text{lateral}} + hf_{\text{de la terciaria}}$$

$$hf = 7.1 \text{ m} + 0.43 \text{ m} + 6.56 \text{ m} = 14.1 \text{ m}$$

7.5.5. Determinación de la Carga Total Dinámica

➤ Pérdidas de cargas por los accesorios

$$hf = k \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Perdida de carga para un codo de 90°, su K=0.24 m, gravedad = 9.81 m/s² y v es la velocidad del flujo de agua por la tubería (Ver anexo página 94).

$$hf = 0.24 \left(\frac{1.5^2}{2 * 9.81} \right) = 0.28 \text{ mt}$$

Este resultado es la pérdida de carga para un codo de 90°, se multiplica por la cantidad de codos de 90° que el proyecto necesita y se obtiene las pérdidas que este que este accesorio realiza. El mismo procedimiento se aplica al resto de accesorios.

En el proyecto no solo codos se utilizaran si no también válvulas de pie, válvula de retención, T, reductores, adaptadores, etc. Todos de PVC. En la siguiente tabla se muestra un resumen de todos los accesorios a usar y lo más importante obtener la sumatoria de las perdidas locales para lo potencias de la bomba.

Nota: Ver anexo página xii.

➤ **Cálculo de la carga de la bomba**

Nivel estático = 5.60 m del espejo de agua al nivel del suelo, más 5mt que es la parte más alta del terreno a vencer.

Nivel de la descarga = La altura de la descarga es 0; ya que no es necesario la elaboración de un tanque, porque el caudal del pozo es suficiente para abastecer las necesidades del cultivo,

Abatimiento = 2.8 m

Fricción = 16.5 m (Pérdidas totales más perdidas por accesorios)

$$cdt = ce + cd$$

$$cdt = (34.77 \text{ pies} + 0) + (9.18 \text{ pies} + 54.12 \text{ pies}) = 98 \text{ pies}$$

➤ **Cálculo de la bomba**

Para obtener el caudal que el pozo ofrece se procedió a realizar un aforo. Utilizando una cubeta con un volumen de 10 litros y una bomba eléctrica de 2 HP. En la siguiente tabla se reflejan los datos de aforo, los tiempos que se demoraba en llenar la cubeta.

Tabla 10. Aforo del pozo del proyecto

Aforo	Tiempo 1 (seg)	Tiempo 2 (seg)	Tiempo 3 (seg)
	2.5	2.1	2.3
Volumen (lts)	10	10	10
Cauda Q (l/s)	$Q = \frac{10lts}{\left(\frac{2.5+2.1+2.3}{3}\right)} = 4.35lts/s$		

Fuente: Elaboración propia

$$hp = \frac{Qctd}{3960} \times \text{eficiencia}$$

$$hp = \frac{68.95gpm * 98 \text{ pies}}{3960} \div 0.70 = 2.43 \text{ hp} \approx 3h$$

7.5.6. Resumen de Diseño Hidráulico

Después de haber realizado el diseño agronómico, se selecciona un método para regar el cultivo el cual es riego por goteo, conociendo eso se procede elegir la cinta de gotero, su caudal y espaciamiento de gotero, después se necesita la presión mínima del lateral, el diámetro de la terciaria, su pérdida de carga y por último el diámetro de la principal, las perdidas locales. Conociendo todo esto se calcula la carga total dinámica lo cual sirve para obtener la potencia de la bomba. En la siguiente tabla se exponen los datos obtenidos en el diseño.

Tabla 11. Resultados del diseño hidráulico

Caudal de trabajo de los goteros	1.2 lt/hr
Caudal de diseño	15466.66 lt/hr
Diámetro de laterales	16 mm
Diámetro de la tubería terciaria	2 pulgadas
Diámetro de la principal	3 pulgadas
Perdida de carga en la tubería lateral	0.43 m
Perdida de carga en la tubería terciaria	6.56 m
Perdida de carga en la tubería principal	7.1 m
Perdida de cargas totales	14.1 mt
Caudal del pozo	15660 lt/hr
CDT	98 pies
HP de la bomba	3 hp

Fuente: Elaboración propia

7.6. LISTADO DE MATERIALES PARA EL SISTEMA DE RIEGO

Gracias al diseño geométrico del terreno, se puede cuantificar la cantidad de cinta de gotero a utilizar, cantidad de tubos PVC para transportar el agua, los accesorios que se utilizaran en el sistema como codos, T, adaptador, reductor etc. En la siguiente tabla se manifiestan la cantidad de tubos y accesorios a utilizar en el proyecto.

Tabla 12. Materiales para la instalación del sistema de riego

Mariales	Diámetro m	Unidad de medida	Cantidad a utilizar en el proyecto
Cinta de gotero	0.016	Rollo	7466. 66 m
Conector polietileno-cinta		Unidad	311
Polietileno	0.016	Rollo	249 m

Conector terciaria-polietileno		Unidad	311 unidades
Empaques		Unidad	311 unidades
Tubo pvc	2 pulg	Unidad	465.88 m
Tubo pvc	3 pulg	Unidad	582.5 m
Pegamento		Unidad	5
Válvula de pase	2 pulg	Unidad	5
Codo pvc 90	2 pulg	Unidad	5
Codo pvc 90	3 pulg	Unidad	7
Reductor pvc	3 pulg -2 pulg	Unidad	1
Válvula check	3 pulg	Unidad	1
Válvula de aire	3 pulg	Unidad	1
Válvula de retención	3 pulg	Unidad	1
Filtro de maya	3 pulg	Unidad	1
T pvc	3 pulg	Unidad	4
T pvc	2 pulg	Unidad	10
Válvula de aire	2 pulg	Unidad	5
Válvula de aire	1 pulg	Unidad	5
Adaptador hembra pvc	2 pulg	Unidad	5
Adaptador hembra pvc	1 pulg	Unidad	5
Reductor pvc	2 pulg-1 pulg	Unidad	5
Bomba	3 hp	Unidad	1

Fuente: Elaboración propia

7.7. COSTOS DEL PROYECTO

7.7.1. Costos de Materiales

Se visitaron casas comerciales distribuidoras de implementos y accesorios para riego por goteo y otros sistemas, se consultaron los precios de cada accesorio a utilizar en el proyecto; multiplicándolo por la cantidad a utilizar provee como resultado el costo total de los accesorios, el cual asciende a 120,111.08 C\$ córdobas (Nota: Ver anexo; página x).

7.7.2. Costos de Zanjeo

Para que el proyecto tenga rentabilidad y durabilidad se decidió enterrar todo el sistema de distribución de agua, la cual comprende la tubería principal y la terciaria, solo la cinta de gotero estará expuesta al sol. Para esto se debe contratar un personal para el zanjeo y el aterrado. Se pagará a 50 C\$ el metro de zanjeo con una profundidad de 80 cm y un ancho de zanja de 40 cm; terminada esta labor y la instalación de la tubería, se precederá al aterrado de la zanja el cual tendrá un precio de 20 C\$ por metro tapado. En la siguiente tabla se reflejan los costos de zanjeo y aterrado.

Tabla 13. *Costos de zanjeo y aterrado*

	Costo/metro	Distancia total (mts)	Costo C\$
Zanjeo	50	1041	52050
Aterrado	20	1041	20820
Costo total C\$			72870

Fuente: Elaboración propia

7.7.3. Costos de Mano de Obra

En los costos de mano de obra se abarca lo que es la carga y descarga de tubería, pegar la tubería, regar la cinta de gotero, perforar la tubería terciaria, instalación de las válvulas y conformado de la cinta. Todo esto se calculó hacer con 20 días hombre; el proyecto se instalara en 4 días a 5 hombres por día, con un costo de día hombre de 200 C\$ para un total de 4000C\$. En la siguiente tabla se exponen la cantidad de días hombres para instalar el sistema de riego.

Tabla 14. *Costo de mano de obra*

	Hombres /día	Días a trabajar	Total día/hombre	Costo C\$ día/hombre	Costo total C\$
Día/hombre	4	5	20	200	400

Fuente: Elaboración propia

7.7.4. Costo de Transporte

El transporte es necesario porque se debe trasladar todos materiales desde la ciudad de Managua hasta el punto del proyecto, con una distancia de recorrido de 104 km de distancia; se cotizó a varios transportistas y el precio más favorable es de 3000 C\$, con un costo por kilómetro recorrido de 15 C\$.

7.7.5. Costos totales

En la siguiente tabla se presenta la sumatoria de todos los costos del proyecto para realizar la instalación del sistema de riego por goteo para el cultivo de Tomate.

Tabla 15. *Costos del proyecto*

Materiales y accesorios	Costo de zanjeo y aterrado	Costos de mano de obra	Costo de transporte	Costo total C\$
120111,03	72870	4000	3000	199981,03

Fuente: Elaboración propia

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

- El área total de la parcela de trabajo es de 1.12 hectáreas, el relieve es semi plano; el suelo es de textura franca y no compacto óptimo para el desarrollo radicular de la planta de tomate; el suelo cuenta con alta retención de agua pero con poca materia orgánica predominando el hierro y el aluminio. Las condiciones climáticas de la zona nos indican una evapotranspiración de referencia de 4.20 mm/día.
- En el diseño agronómico se determinó la necesidad de agua que presenta el cultivo dando como resultado 4,62 mm/día, el cual será aplicado en un periodo de 3 horas diarias a través de un gotero con un caudal de 1,2 lt/hr. En el diseño hidráulico se estipulo la carga total dinámica a vencer la cual es de 98 pies y un caudal de la fuente de 68.95 gpm obteniendo así la potencia de la bomba de 3 HP.
- El costo de instalación del proyecto se divide en la mano de obra; zanjeo y aterrado; costos de materiales y accesorios, transporte; obteniendo un costo total de 199,981.03 C\$ córdobas netos.

8.2. RECOMENDACIONES

- Efectuar mantenimientos periódicos del sistema de riego por goteo tales como reparaciones y cambio de cintas, lavado de las tuberías de conducción, limpieza de filtros y comprobación del funcionamiento de todo el sistema.
- Capacitar a productores sobre el manejo del sistema para mantenerlo funcionando con la mayor eficiencia posible.
- Conservar la vegetación que existe alrededor de las fuentes de agua para evitar que se presenten problemas con la disminución de caudales y la erosión.
- Realizar las medidas de uniformidad en la cinta de gotero así se observara si la intensidad de aplicación es la correcta y de esta manera tener un sondeo de la cantidad de agua que se está aplicando.
- Respetar de manera contundente el orden de abertura de válvulas, esto es fundamental para mantener la presión requerida en las válvulas de riego y evitar fugas por algún tubo roto por altas presiones.

Siguiendo todas estas recomendaciones se obtendrá una mayor durabilidad en la vida útil del proyecto.

IX. BIBLIOGRAFIA

- Alcobendas, P., & Moreno, M. (05 de Marzo de 2011). *necesidades de riego de los cultivos*. Obtenido de Google: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/PresentacionesPDF_STR/NecesidadesRiego.pdf
- Cevallos Zambrano, C. P. (2008). *Diseño y calculo de riego par goteo para 32 ha horticolasa y 5 hade cultivos organicos en El Zamorano,Honduras*. Honduras.
- Fernandez Gomez, R., & Milla, M. (2010). *Manual de riego para agricultores. Riego Localizado*. España: Junta de Andalucía.
- Giles, R. N. (1991). *Mecanica de los fluidos*. Mexico: McGraw.Hill.
- Gurovich, L. A. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*. San jose; Costa Rica: CIDIA.
- kerr Pérez, I. I., & Centeno, h. (2012). *Metdodloogia del calculo del diseño del sistema de riego por aspersion aplicado al cultivo de maíz(Zea Mays L) en el centro Experimental Agricola de la Facultad de Tecnologia de la Construcion propiedad de la Universidad Nacional de Ingenieria UNI-FTC*. Managua.
- López Marín, L. (2017). *Manual tècnico del cultivo del tomate*. San Jose.
- Lopez, M. (2020). *Tipos de filtros y sus mantenciones*. Mexico.
- López, M., & Marin, L. (2016). *Manuala técnico del cultivo de tomate*. San Jose, Costa Rica: Ramirez Laura.
- Molina, E. (03 de Marzo de 2016). *Fertilización del tomate*. Obtenido de Google: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/FERTILIZACION%20TOMATE%202016.pdf>
- Ortiz, P., & Godoy, R. (23 de Octubre de 2013). *El manejo de suelo en la produccion de ortalisas con buenas praxticas agricolas*. Obtenido de Google: <http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf>
- Pizarro, F. (1996). *Riego Localizado de Alta Frecuencia*. Madrid: Mundo y prensa.
- Zapata Sierra, A. j. (2012). *Manual practico de sistema de riego localizado*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Zolezzi, M., & Abarca, P. (4 de Marzo de 2017). *Manual del cultivo de tomate al aire libre*. Obtenido de Google: <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/11%20Manual%20Tomate%20Aire%20Libre.pdf>

X. ANEXOS

ANEXO I. DATOS METEOROLÓGICOS

Tabla 16. *Temperatura mínima*

INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS
TERRITOREALES DIRECCION GENERAL DE
METEOROLOGIA RESUMEN METEOROLOGICO ANUAL

Estación:	RAUL GONZALEZ /	Código:	690132
Departame	Matagalpa	Municipio:	SAN ISIDRO
Latitud:	12°54'48"	Longitud:	86°11'30"
Año	2016	Elevación:	480 msnm
parámetro	Temperatura Mínima (°C)	Tipo:	AG

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Mínima
2016	18.4	19.6	19.8	21.5	21.9	21.3	21.2	21.2	20.8	20.6	20.1	20.7	17.1
2017	18.8	18.5	20.2	20.8	21.3	20.1	21	20.2	20.4	20.5	18.9	20.1	16.8
2018	19.7	19.3	19.2	20	20.7	20.6	21.8	21.1	19.9	19.9	19.8	18.5	17.2
2019	18.6	18.2	18.9	20	21.4	21.6	21	21	20.8	20.1	20.7	20.6	17

Fuente: INETER

Tabla 17. Temperatura máxima

INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS
TERRITOREALES DIRECCION GENERAL DE
METEOROLOGIA RESUMEN METEOROLOGICO ANUAL

Estación:	RAUL GONZALEZ /				Código:	690132
Departame	Matagalpa				Municipio:	SAN ISIDRO
Latitud:	12°54'48"				Longitud:	86°11'30"
Año	2016				Elevación:	480 msnm
parámetro	temperatura Máxima (°C)				Tipo:	AG

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
2016	32	32.3	34.1	34.6	34.7	31.9	31.9	32.8	32.1	31.7	30.9	30.4	30.4
2017	30.9	32.4	33.3	34.6	32.1	31.1	31.3	32	31.5	30.4	31.7	30.2	35
2018	30.9	31.2	32.8	33.3	31.9	31	32.5	32.4	32.2	30	31.6	30.6	34.5
2019	31	32.3	33.2	33.8	32	32.4	32.7	33	33.4	30.8	31.8	31.7	34.9

Fuente: INETER

Tabla 18. Humedad

INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS
TERRITOREALES DIRECCION GENERAL DE
METEOROLOGIA RESUMEN METEOROLOGICO ANUAL

Estación:	RAUL GONZALEZ /				Código:	690132
Departame	Matagalpa				Municipio:	SAN ISIDRO
Latitud:	12°54'48"				Longitud:	86°11'30"
Año	2016				Elevación:	480 msnm
parámetro	Humedad %				Tipo:	AG

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
2016	66	61	67	63	68	76	72	75	79	81	74	71	71
2017	65	63	62	63	78	83	79	79	84	84	76	70	74
2018	66	67	62	65	78	72	59	71	79	85	76	72	71
2019	66	65	56	61	74	76	69	71	74	84	76	61	69

Tabla 19. Velocidad del viento

INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS
TERRITOREALES DIRECCION GENERAL DE
METEOROLOGIA RESUMEN METEOROLOGICO ANUAL

Estación:	RAUL GONZALEZ /				Código:	690132
Departame	Matagalpa				Municipio:	SAN ISIDRO
Latitud:	12°54'48"				Longitud:	86°11'30"
Año	2016				Elevación:	480 msnm
parámetro	Velocidad del Viento m/s				Tipo:	AG

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
2016	2.7	3.6	2.3	2.1	1.8	1.7	2	1.9	1.8	1.5	2.2	2.6	2.2
2017	3.1	2.2	2.8	2.1	1.5	1.6	1.9	1.7	1.4	1.5	2	3.2	2.1
2018	3.8	2.9	3.1	2.2	1.5	1.6	2.5	2.2	2	1.3	2.2	2.6	2.3
2019	2.8	2.5	3	2.1	1.6	1.9	2.4	2.2	2	1.3	2.1	3.3	2.3

Tabla 20. Brillo solar

INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS
TERRITOREALES DIRECCION GENERAL DE
METEOROLOGIA RESUMEN METEOROLOGICO ANUAL

Estación:	RAUL GONZALEZ /				Código:	690132
Departame	Matagalpa				Municipio:	SAN ISIDRO
Latitud:	12°54'48"				Longitud:	86°11'30"
Año	2016				Elevación:	480 msnm
parámetro	Brillo Solar (h/dec)				Tipo:	AG

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
2016	9.4	9.4	9.2	7.5	7	5.6	6.2	7.3	7.6	6.7	6.7	3	6.9
2017	8.7	8.9	8.8	8.7	5.6	5	5.4	7.4	6.3	5	2.8	0.4	6.8
2018	8.3	8.1	9.1	8.3	5.7	5.7	6.9	6.4	6.7	5.3	3.1	0.4	6.9
2019	8.9	9.3	9.4	8.5	4.5	6.9	6.9	7.1	7.7	6.6	2.8	0.3	7

ANEXO II. TABLAS

Tabla 21. Coeficiente K , pérdida locales por accesorio

Pieza, conexión o dispositivo	K_f
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
Ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto de 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Codo largo de 22° 30'	0.10
Tee con flujo en línea recta	0.10
Tee con flujo en ángulo	1.50
Tee con salida bilateral	1.80
Válvula de compuerta abierta	5.00
Válvula de ángulo abierta	5.00
Válvula de globo abierta	10.0
Válvula alfalfera	2.00
Válvula de retención	2.50
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Confluencia	0.40
Bifurcación	0.10
Pequeña derivación	0.03
Válvula de mariposa abierta	0.24

Fuente: Giles, R. N. (1991). *Mecánica de los fluidos*. Mexico: McGraw.Hill.

Tabla 22. Profundidad de raíces de los cultivos

PROFUNDIDAD DE RAÍCES MEDIA DE DIFERENTES CULTIVOS					
Cultivo	Prof. (metros)	Cultivo	Prof. (metros)	Cultivo	Prof. (metros)
Aguacate	0.8-1.2	Col y coliflor	0.6	Patata	0.6-0.9
Albaricoque	0.6-1.4	Espárrago	1.2-1.8	Pepino	0.4-0.6
Alcachofa	0.6-0.9	Espinaca	0.4-0.6	Peral	0.6-1.2
Alfalfa	1.2-1.8	Fresa	0.3-0.5	Pimiento	0.4-0.9
Algodón	0.6-1.8	Girasol	1.5-2.5	Remolacha	0.6-1.2
Almendro	0.6-1.2	Guisantes	0.4-0.8	Soja	0.6-1.0
Avena	0.6-1.1	Lechuga	0.2-0.5	Sorgo	0.6-0.9
Berenjena	0.5-0.6	Leguminosas grano	0.5-1.0	Tabaco	0.5-0.9
Cebada	0.9-1.1	Maíz grano	0.6-1.2	Tomate	0.6-1.2
Cebolla	0.3-0.6	Manzano	0.8-1.4	Trigo	0.8-1.1
Cerezo	0.8-1.2	Melocotón	0.6-1.2	Vid	0.8-1.1
Ciruelo	0.8-1.2	Melón	0.6-1.1	Zanahoria	0.4-0.6
Cítricos	0.9-1.5	Olivo	0.9-1.5		

Fuente: FAO, respuestas del rendimiento del cultivo al agua; Theodore C Hsiao, Elías Fereres; Año 2012.

Tabla 23. Coeficiente de Christiansen

n	$I_0 = 1$					n	$I_0 = 1/2$				
	$\beta=1,75$	$\beta=1,80$	$\beta=1,85$	$\beta=1,90$	$\beta=2,00$		$\beta=1,75$	$\beta=1,80$	$\beta=1,85$	$\beta=1,90$	$\beta=2,00$
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,650	0,644	0,639	0,634	0,625	2	0,532	0,525	0,518	0,512	0,500
3	0,546	0,540	0,535	0,528	0,518	3	0,455	0,448	0,441	0,434	0,422
4	0,497	0,491	0,486	0,480	0,469	4	0,426	0,419	0,412	0,405	0,393
5	0,469	0,463	0,457	0,451	0,440	5	0,410	0,403	0,397	0,390	0,378
6	0,451	0,445	0,435	0,433	0,421	6	0,401	0,394	0,387	0,381	0,369
7	0,438	0,432	0,425	0,419	0,408	7	0,395	0,388	0,381	0,375	0,363
8	0,428	0,422	0,415	0,410	0,398	8	0,390	0,383	0,377	0,370	0,358
9	0,421	0,414	0,409	0,402	0,391	9	0,387	0,380	0,374	0,367	0,355
10	0,415	0,409	0,402	0,396	0,385	10	0,384	0,378	0,371	0,365	0,353
11	0,410	0,404	0,397	0,392	0,380	11	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351
12	0,406	0,400	0,394	0,388	0,376	12	0,380	0,374	0,367	0,361	0,349
13	0,403	0,396	0,391	0,384	0,373	13	0,379	0,372	0,366	0,360	0,348
14	0,400	0,394	0,387	0,381	0,370	14	0,378	0,371	0,365	0,358	0,347
15	0,397	0,391	0,384	0,379	0,367	15	0,377	0,370	0,364	0,357	0,346
16	0,395	0,389	0,382	0,377	0,365	16	0,376	0,369	0,363	0,357	0,345
17	0,393	0,387	0,380	0,375	0,363	17	0,375	0,368	0,362	0,356	0,344
18	0,392	0,385	0,379	0,373	0,361	18	0,374	0,368	0,361	0,355	0,343
19	0,390	0,384	0,377	0,372	0,360	19	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343
20	0,389	0,382	0,376	0,370	0,359	20	0,373	0,367	0,360	0,354	0,342
22	0,387	0,380	0,374	0,368	0,357	22	0,372	0,366	0,359	0,353	0,341
24	0,385	0,378	0,372	0,365	0,355	24	0,372	0,365	0,359	0,352	0,340
26	0,383	0,376	0,370	0,364	0,353	26	0,371	0,364	0,358	0,351	0,340
28	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351	28	0,370	0,364	0,357	0,351	0,340
30	0,380	0,374	0,368	0,362	0,350	30	0,370	0,363	0,357	0,350	0,339
35	0,378	0,371	0,366	0,359	0,347	35	0,369	0,362	0,356	0,350	0,338
40	0,376	0,370	0,364	0,357	0,345	40	0,368	0,362	0,355	0,349	0,349
50	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343	50	0,367	0,361	0,354	0,348	0,337
60	0,373	0,366	0,359	0,353	0,342	100	0,365	0,359	0,353	0,347	0,335
80	0,370	0,363	0,357	0,351	0,340	200	0,365	0,358	0,352	0,346	0,334
100	0,369	0,362	0,356	0,350	0,338	-	-	-	-	-	-
150	0,367	0,360	0,354	0,348	0,337	-	-	-	-	-	-
300	0,365	0,359	0,353	0,346	0,335	-	-	-	-	-	-
=300	0,364	0,357	0,351	0,345	0,333	-	-	-	-	-	-

n = Número de análisis
 $\beta=1,75$. Blasius, Cruciano-Margottara
 $\beta=1,786$ Scimemi
 $\beta=1,80$. Iso, Veronesi-Daite
 $\beta=1,85$. Hazen-Williams
 $\beta=1,90$. Scobey
 $\beta=2,00$. Manning, Darcy-Weisbach

En la práctica se toma los siguientes valores de β :
 $\beta=1,75$ para tuberías de PE
 $\beta=1,80$ para tuberías de PVC
 $\beta=1,85-1,90$ para tuberías de aluminio

Fuente: Riego localizado de alta frecuencia; Fernando Pizarro Cabello 1986 Barcelona

Tabla 24. Costos de materiales

Ítem	Descripción	Diámetro	unidad de medida	precio unitario C\$	Cantidad	Costo C\$
1	Cinta de gotero	16 mm	Rollo	4830	5	24150,00
2	Conector polietileno-cinta		Unidad	5	311	1555,00
3	Polietileno	16 mm	Rollo	690	3	2070,00
4	Conector terciaria-polietileno		Unidad	8	311	2488,00
5	Empaques		Unidad	2	311	622,00
6	Tubo pvc	2 pulg	Unidad	258,06	78	20128,68
7	Tubo pvc	3 pulg	Unidad	363,29	98	35602,42
8	Pegamento		Galón	340	5	1700,00
9	Válvula de pase	2 pulg	Unidad	150	5	750
10	Codo pvc 90	2 pulg	Unidad	20,7	5	103,50
11	Codo pvc 90	3 pulg	Unidad	65,55	7	458,85
12	Reductor pvc	3-2 pulg	Unidad	30,02	5	150,10
13	Válvula check	3 pulg	Unidad	470	1	470
14	Válvula de aire	3 pulg	Unidad	230	1	230,00
15	Válvula de retención	3 pulg	Unidad	380	1	380
16	Filtro de maya	3 pulg	Unidad	567	1	567,00
17	T pvc	2 pulg	Unidad	22,77	4	91,08
18	T pvc	3 pulg	Unidad	92,44	10	924,40

19	Válvula de aire	2 pulg	Unidad	195	5	975,00
20	Válvula de aire	1 pulg	Unidad	80	5	400,00
21	Adaptador hembra pvc	2 pulg	Unidad	9,66	5	48,30
22	Adaptador hembra pvc	1 pulg	Unidad		5	29,35
23	Reductor pvc	2-1 pulg	Unidad		5	44,85
24	Bomba	3 HP	Unidad		1	27772,50
Costo total C\$						120111,03

Fuente: Elaboración propia

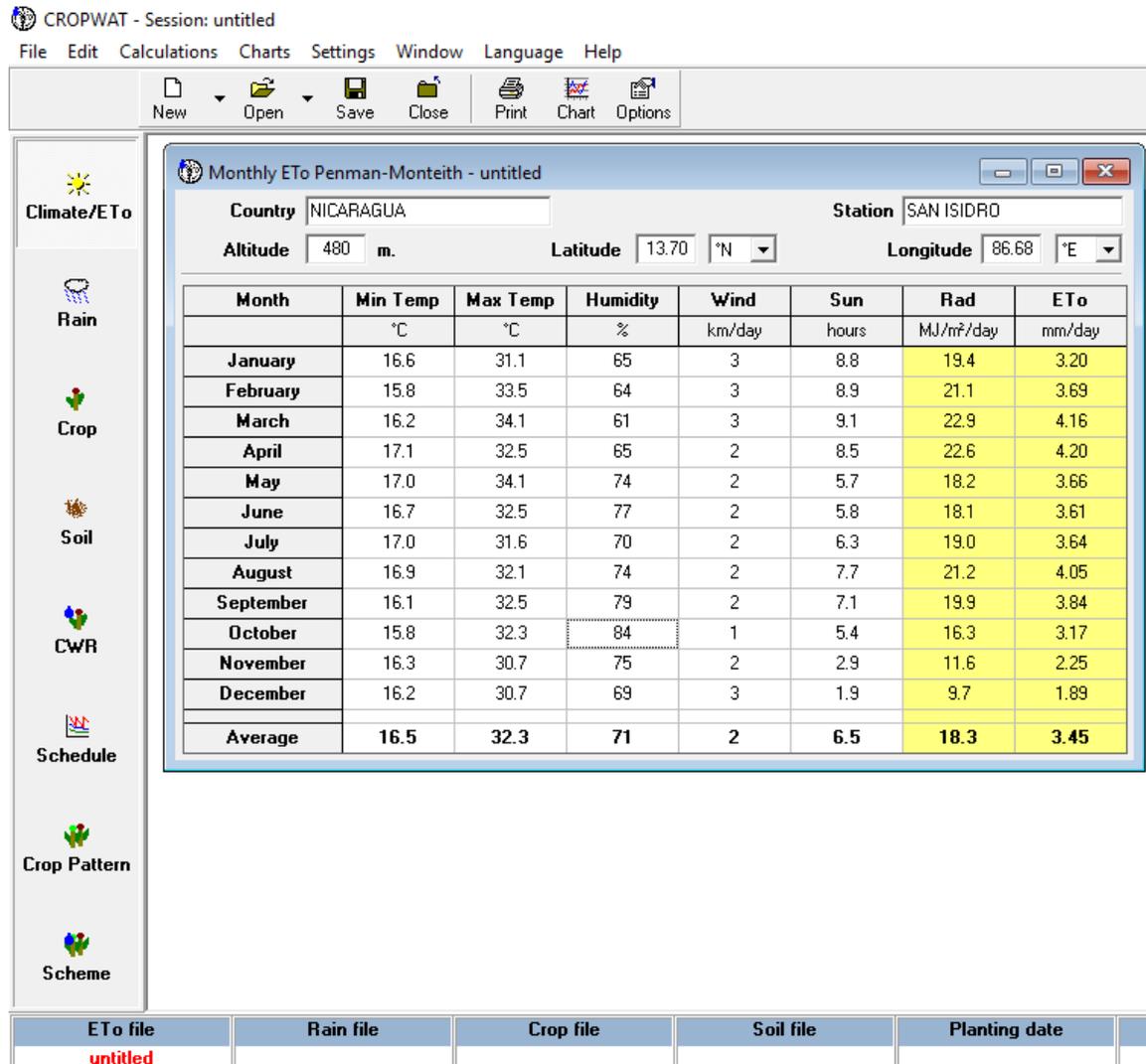
Tabla 25. *Perdida de carga de los accesorios*

Accesorios	Diámetro (pulg)	Cantidad	Velocidad (m/s)	Gravedad (m/s ²)	Factor k	$h_f = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) = mt$	Perdida (mt)
Válvula de pase	2	5	1.5	9.8	0,24	0,028	0,138
Codo pvc 90	2	5			0,9	0,103	0,516
Codo pvc 90	3	8			0,9	0,103	0,826
Reductor pvc	3 a 2	1			0,25	0,029	0,029
Válvula de pie	3	1			3	0,344	0,344
Válvula de retención	3	1			2,5	0,287	0,287
T pvc	3	4			0,1	0,011	0,046
T pvc	3	10			0,1	0,011	0,115
Reductor pvc	2 a 1	5			0,25	0,029	0,143
Sumatoria hf							

Fuente: Elaboración propia

ANEXO III. FIGURAS

Figura 7. *Calculo de la evapotranspiración CROPWAT*



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. *Cultivo del tomate*



Fuente: Elaboración Propia

Figura 9. *Marco de plantación*



Fuente: Elaboración Propia

Figura 10. *Cinta de gotero*



Fuente: Elaboración Propia

Figura 11. *Tubería terciaria*



Fuente: Elaboración Propia

Figura 12. *Fuente de agua*



Fuente: Elaboración Propia

Figura 13. *Profundidad del espejo de agua*



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IV. PLANO