



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

“Diseño de un sistema de riego por goteo para un cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) para la finca “María Auxiliadora” del sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja”

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola.

AUTOR:

Galo Michael Macas Parra

DIRECTOR:

Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta. Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación.

Loja, 15 de mayo de 2024

Pedro Manuel Guaya Pauta M.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado **“Diseño de un sistema de riego por goteo para un cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) para la finca “María Auxiliadora” del sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja”** previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de la autoría de la estudiante **Galo Michael Macas Parra**, con **cédula de identidad Nro. 1105353047**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado digitalmente por:
**PEDRO MANUEL MESIAS
GUAYA PAUTA**

Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta Mg.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría.

Yo, **Galo Michael Macas Parra**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de Identidad: 1105353047

Fecha: 15 de mayo del 2024

Correo electrónico: gmmacasp@unl.edu.ec

Teléfono: 0939074470

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Galo Michael Macas Parra**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **“Diseño de un sistema de riego por goteo para un cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) para la finca “María Auxiliadora” del sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja”**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los quince días del mes de mayo del dos mil veinticuatro.



Firma:

Autor: Galo Michael Macas Parra

Cédula: 1105353047

Dirección: Saraguro, comunidad Quisquinchir

Correo electrónico: gmmacasp@unl.edu.ec

Teléfono: 0939074470

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta, Mg. Sc.

Dedicatoria.

El presente Trabajo de Titulación lo dedico principalmente a Dios por brindarme salud y vida, guiarme y protegerme en todo momento.

A mis padres Rosendo y Rosa quienes con su amor, sacrificio y apoyo incondicional hicieron posible que culmine con éxito mi carrera universitaria y obtenga mi título profesional. A mis hermanas y hermanos por su comprensión y motivación para alcanzar esta meta, a mi novia Diana Vargas que de una u otra manera me brindó su apoyo para que culmine con éxito mi carrera.

A mis compañeros de carrera Luis Moreno, Paola Gaona y Marco Cueva que estuvieron en las buenas y en las malas lo cual me sirvió para poder culminar mis estudios.

Galo Michael Macas Parra

Agradecimiento.

A las Autoridades de la Universidad Nacional de Loja, a los docentes de la Carrera de Ingeniería Agrícola, por impartir sus conocimientos, que me ayudó en todo el proceso de formación profesional.

Al Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta, Mg. Sc, director del Trabajo de Titulación, por su bondad infinita de compartir desinteresadamente su tiempo y conocimiento para alcanzar este objetivo.

Mi agradecimiento también va para los ingenieros Jorge Jaramillo, Jimmy Cordero y Ángel Guallas por su voluntariosa ayuda, por colaborar con sus conocimientos y contribuir en el desarrollo del presente trabajo. Finalmente, agradezco a mis familiares, amigos por su apoyo, y a todas las personas que contribuyeron de una u otro manera para que pueda hacer realidad este sueño.

Galo Michael Macas Parra

Índice de contenidos.

Portada	I
Certificación	II
Autoría	iii
Carta de autorización	IV
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Índice de contenidos	VII
Índice de tablas.....	XIII
Índice de figuras.....	XIII
Índice de anexos	XV
1. Título	1
2. Resumen	2
abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1 Cultivo de tomate de árbol (<i>solanum betaceum</i>).....	6
4.1.1 Descripción botánica del cultivo de tomate de árbol (<i>solanum betaceum</i>).....	7
4.2.1.1 El movimiento del agua en el suelo.	9
4.5.1.1 Fuente de abastecimiento.....	15

4.5.1.2	Cabezal de riego..	15
4.5.1.3	Red de distribución.	16
4.5.1.4	Unidad de riego..	16
4.6.1.1	Necesidades de agua. Según villafáfila & wyss (2009).....	17
4.6.1.2	Evapotranspiración de referencia..	17
4.6.1.3	Coeficiente de cultivo.....	18
4.6.1.4	Lluvia efectiva.....	19
4.6.1.5	Lamina neta.....	19
4.6.1.6	Necesidades netas.	20
4.6.1.7	Diámetro del bulbo húmedo del gotero.....	20
4.6.1.8	Solape.....	20
4.6.1.9	Lamina bruta.	20
4.6.1.10	Intensidad de precipitación.	21
4.6.1.11	Frecuencia de riego.	21
4.6.1.12	Duración del riego.....	22
4.6.1.13	Tipos de emisores.	22
4.6.2	Diseño hidráulico	23
4.6.2.1	Importancia del diseño hidráulico.	23
4.6.2.2	Distribución de las pérdidas de presión en la unidad de riego.....	23
4.6.2.3	Diseño de la tubería lateral.....	26
4.6.2.4	Ecuación del gotero.....	27

4.6.2.5	Coefficiente de variación.	27
4.6.2.6	Diseño de la tubería secundaria.	28
4.6.2.7	Dimensionamiento del resto de tuberías.	28
4.6.2.8	Criterios para el trazado de tuberías.	28
4.6.3	Reservorio de riego	29
4.6.3.1	Tipos de reservorio.	29
5.	Metodología	30
5.1	Descripción y ubicación del área de estudio	30
5.2	Materiales y equipos de campo	31
5.3	Materiales y equipos de laboratorio	31
5.4	Materiales y equipos de oficina	32
5.5	Datos de partida	32
5.5.1	Levantamiento topográfico	32
5.5.2	Aforo del caudal disponible	34
5.5.3	Constantes hidrofísicas del suelo	34
5.5.4	Pruebas de infiltración.	34
5.6	Determinar los requerimientos de riego del tomate de árbol en la zona en función a la relación suelo-agua-planta	35
5.6.1	Evapotranspiración de referencia, e_t	35
5.6.2	Coefficiente de cultivo, k_c	36
5.6.3	Evapotranspiración de cultivo, etc	36
5.6.4	Precipitación efectiva, p_e	36

5.6.5	Cálculo de requerimiento de riego, rr.....	37
5.7	Diseñar un sistema de riego por goteo en el predio “maría auxiliadora” del sector troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja.....	37
5.7.1	Diseño agronómico	37
5.7.1.1	Necesidades netas.	37
5.7.1.2	Necesidades totales de riego.	39
5.7.1.3	Necesidades totales unitarias para cultivos arbóreos.	39
5.7.1.4	Número final de goteros por metro cuadrado.	40
5.7.1.5	Solape de bulbos húmedos.....	41
5.7.1.6	Distancia entre emisores.....	41
5.7.1.7	Número final de goteros por árbol.....	41
5.7.1.8	Intervalos de riego.	42
5.7.1.9	Duración de riego.	42
5.7.1.10	Caudal total.	42
5.7.2	Diseño hidráulico	43
5.7.2.1	Estudio de la sub unidad de riego.	43
5.7.2.2	Dimensionamiento en los laterales.....	45
5.7.2.3	Dimensionamiento de la tubería secundaria.....	47
5.7.2.4	Dimensionamiento de la tubería principal.	50
5.7.2.5	Cálculo de la bomba.	51
5.7.3	Capacidad y dimensionamiento del reservorio	51
6.	Resultados	52

6.1 Datos de partida	52
6.2 Determinar los requerimientos de riego del tomate de árbol en la zona en función a la relación suelo-agua-planta.....	53
6.2.1 Evapotranspiración de referencia.....	53
6.2.2 Coeficiente de cultivo.....	54
6.2.3 Evapotranspiración del cultivo.....	55
6.2.4 Precipitación efectiva.....	55
6.2.5 Requerimiento de riego.....	56
6.3 Diseño de un sistema de riego por goteo en el predio “maría auxiliadora” del sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja.....	56
6.3.1 Diseño agronómico.....	57
6.3.2 Diseño hidráulico.....	57
6.3.2.1 Diseño hidráulico en laterales de riego.....	57
6.3.2.2 Diseño hidráulico en tuberías primarias y secundarias.....	59
6.3.3 Diseño de reservorio.....	63
7. Discusión	65
7.1 Datos de partida	65
7.2 Determinar los requerimientos de riego del tomate de árbol en la zona en función a la relación suelo-agua-planta.....	66
7.3 Diseño de un sistema de riego por goteo en el predio “maría auxiliadora” del sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja.....	66
8. Conclusiones.....	69
9. Recomendaciones.....	70
10. Bibliografía.....	71

11. Anexos 86

Índice de tablas:

Tabla 1. Clasificación botánica del cultivo de tomate.....	6
Tabla 2. Eficiencia de sistemas de riego.....	21
Tabla 3. Clasificación del coeficiente de variación de emisores de riego	27
Tabla 4. Valores de eficiencia de aplicación de acuerdo a la textura del suelo.....	39
Tabla 5. Intervalos de riego según el tipo de textura.....	42
Tabla 6. Propiedades físicas del predio a 35 y 50 cm.....	52
Tabla 7. Constantes hidrofísicas del predio.	52
Tabla 8. Evapotranspiración de referencia.....	53
Tabla 9. Coeficiente de cultivo para tomate de árbol, de acuerdo a las etapas de desarrollo.	54
Tabla 10. Kc para cultivo de tomate de árbol.....	54
Tabla 11. Evapotranspiración de cultivo.	55
Tabla 12. Precipitación efectiva para saraguro.....	55
Tabla 13. Requerimiento de riego para el cultivo de tomate de árbol.....	56
Tabla 14. Parámetros correspondientes al diseño agronómico.	57
Tabla 15. Parámetros de riego en laterales (sub unidad 1).	57
Tabla 16. Parámetros de riego en laterales (sub unidad 2).	58
Tabla 17. Parámetros de riego para la tubería secundaria (sub unidad 1).	59
Tabla 18. Parámetros de riego para la tubería secundaria (sub unidad 2).	59

Índice de figuras:

Figura 1. Curva de retención de humedad.	12
Figura 2. Kc de un cultivo en base a la necesidad de agua de acuerdo a su etapa fenológica	18
Figura 3. Mapa base de ubicación de la finca "María Auxiliadora", cantón Saraguro.	30
Figura 4. Levantamiento topográfico del lugar de estudio.	33
Figura 5. Curva del coeficiente de cultivo.....	55
Figura 6. Relación etc-pe.....	56
Figura 7. Perfil de conducción del lateral.....	58
Figura 8. Perfil de la línea de conducción de la tubería secundaria.....	60
Figura 9. Diseño de red de tuberías principales, secundarias y laterales.....	62
Figura 10. Detalle constructivo del reservorio de riego	63

Índice de Anexos:

Anexo 1. Resultado de análisis del suelo en el laboratorio	86
Anexo 2. datos de prueba de la velocidad de infiltración básica.....	87
Anexo 3. curva de infiltración acumulada.....	88
Anexo 4. datos meteorológicos de precipitación y temperatura de la estación saraguro	89
Anexo 5. datos de evapotranspiración (eto).....	90
Anexo 6. datos de precipitación efectiva mensual	91
Anexo 7. requisitos de riego durante el año y medio de producción	91
Anexo 8. cálculos correspondientes al diseño de riego por goteo para el cultivo de tomate de árbol..	92
Anexo 9. costo total de instalación	103
Anexo 10. perfil de elevación de la línea principal de conducción	104
Anexo 11. topografía del área de cultivo.....	105
Anexo 12. detalles constructivos	106
Anexo 13. fotografías salidas de campo.....	107
Anexo 14. detalle del panel solar, bomba y cabezal de riego	108
Anexo 15. especificaciones del panel solar	109
Anexo 16. certificado de traducción del resumen	110

1. Título

“Diseño de un sistema de riego por goteo para un cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) para la finca “María Auxiliadora” del sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja”

2. Resumen

La provincia de Loja, presenta una marcada distribución de la precipitación, el cantón Saraguro no es la excepción, manifestándose períodos de déficit hídrico, evidenciando una disminución en la productividad, dando paso al aprovechamiento de pequeños caudales, es por ello que, el presente estudio, determinó los requerimientos de riego para el cultivo de tomate de árbol, mismos que servirán para diseñar un riego por goteo. Se realizó la descripción del perfil del suelo y análisis del mismo en el laboratorio, presentando una textura Franco-arenoso; sus propiedades hidrofísicas fueron: CC=38,87 %; PMP =20,17 %; Da = 1,15 g/cm³; AA = 19,54 %; VPI = 53,57. El requerimiento hídrico máximo para el cultivo de tomate de árbol, es de 3,03 mm/día, en el mes de agosto. El diseño agronómico estableció las necesidades totales unitarias por planta, de 10,33 l/árbol, utilizando un caudal de 0,68 l/s, con una frecuencia de riego diaria y una duración de riego de 38 minutos. El diseño hidráulico determinó una tubería secundaria de polietileno de 1 MPa, diámetro nominal de 25 mm, 28,30 m de longitud, y una velocidad de flujo de 1,96 m/s; los laterales de riego son de polietileno, con 23,00 m de longitud, diámetro comercial de 12 mm, y goteros auto compensados de 4,00 l/h; la tubería principal es de 40 mm de diámetro y 240 m de longitud. Finalmente se instalará un sistema de bombeo por lo que se ha seleccionado una bomba monofásica modelo AL-REDm 600- 4 con una potencia de 0,50 HP, que compensara la energía faltante.

Palabras claves: Riego por goteo, Diseño agronómico, Diseño hidráulico, Laterales de riego, Goteros.

Abstract

The province of Loja presents a marked distribution of precipitation, the Saraguro canton is no exception, manifesting periods of water deficit, evidencing a decrease in productivity, giving way to the use of small flows, which is why the present study, determined the irrigation requirements for growing tree tomatoes, which will be used to design drip irrigation. The description of the soil profile and its analysis was carried out in the laboratory, presenting a sandy loam texture; Its hydrophysical properties were: CC=38.87%; PMP =20.17%; Da = 1.15 g/cm³; AA = 19.54%; VPI = 53.57. The maximum water requirement for growing tree tomato is 3.03 mm/day, in the month of August. The agronomic design established the total unit needs per plant of 10.33 l/tree, using a flow rate of 0.68 l/s, with a daily irrigation frequency and an irrigation duration of 38 minutes. The hydraulic design determined a secondary polyethylene pipe of 1 MPa, nominal diameter of 25 mm, 28.30 m in length, and a flow velocity of 1.96 m/s; The irrigation laterals are made of polyethylene, 23.00 m long, commercial diameter of 12 mm, and self-compensated drippers of 4.00 l/h; The main pipe is 40 mm in diameter and 240 m in length. Finally, a pumping system will be installed, so a single-phase pump model AL-REDm 600- 4 with a power of 0.50 HP has been selected, which will compensate for the missing energy.

Keywords: *Drip irrigation, Agronomic design, Hydraulic design, Irrigation laterals, Drippers.*

3. Introducción

La planificación del riego es un recurso importante para el uso del agua en la agricultura, con el objetivo de optimizar el agua en el riego, aplicando la cantidad correcta en el momento requerido por la planta, ayudando de esta manera al uso eficiente del agua. A nivel mundial, el 70 % del agua dulce es utilizada para la agricultura de regadío, de ella, el 94 % es utilizado en el riego por superficie (inundación, surcos, melgas, etc.) y el 6 % en riego a presión (aspersión, microaspersión y goteo) (Arroyo, 2017).

Mossande et al., (2015) menciona que la agricultura es el sistema de producción que mayor demanda de agua tiene a nivel global; siendo el riego la actividad que consume el 70% de este recurso a nivel mundial. Se estima que sólo el 20% de las tierras agrícolas del mundo se encuentran bajo riego, las cuales proporcionan el 40% de la producción agrícola.

En el Ecuador hay infraestructura instalada para regar una superficie de aproximadamente 1 528 474 ha, incluyendo sistemas de riego en operación y sistemas nuevos, tanto públicos, comunitarios y privados; sin embargo, el área regada es de 977 074 ha (Zapatta et al., 2019).

En la provincia de Loja, el área total de sistemas públicos de riego transferido y no transferido es de 43 998 ha. De este total, la mayor superficie regable está dentro de la categoría de los “sistemas de riego comunitario” con 20 205 ha, y que este es el sector que aporta en mayor grado a la seguridad y soberanía alimentaria a nivel provincial, lo cual tiene correspondencia con la tendencia nacional (PDOT, 2015a).

En el cantón Saraguro la superficie regable es de 7 639,39 ha, que benefician actualmente alrededor de 4 800 usuarios, de este la mayor superficie regable está dentro de la categoría de los “sistemas de riego comunitario” con 4 020,67 ha, aportando en mayor grado a la seguridad y soberanía alimentaria a nivel cantonal (PDOT, 2015b).

El tomate de árbol es un cultivo originario de la Región Andina de América, que en estos últimos años se ha convertido en un cultivo de importancia económica que ha demostrado una evolución favorable en lo que se refiere al área sembrada, producción y rendimientos en cuanto a su comercialización. En el Ecuador se ha desarrollado la explotación del tomate de árbol (*Solanum betaceum*), especialmente en zonas como Tungurahua, Chimborazo, Azuay, Loja, Pichincha e Imbabura, teniendo un incremento significativo en los últimos 15 años; se

siembra principalmente en los Valles Interandinos templados, cultivando alrededor de 5.000 hectáreas, con rendimientos que oscilan entre 60 y 80 toneladas /hectárea /año (Toala, 2016).

En el área de estudio se evidencian varias problemáticas: la presencia de dos épocas bien marcadas, una con suficiente precipitación para abastecer las necesidades hídricas del cultivo y otra con déficit hídrico; por otro lado, la poca disponibilidad de mano de obra y por último la escasa información sobre la aplicación de riego en el cultivo de tomate de árbol. Por lo tanto, en el predio María Auxiliadora se decidió implementar un sistema de riego por goteo que permita el uso eficiente del escaso recurso hídrico disponible en el lugar, capaz de optimizar su uso, aprovechando la tecnología que se puede integrar al método de riego, constituyendo la presente investigación en modelo para los agricultores que se dedican al cultivo de tomate de árbol en el sector.

Objetivo General

Aportar con experiencias sobre el aprovechamiento de los escasos caudales disponibles en la producción de tomate de árbol con la aplicación del riego por goteo en la finca María Auxiliadora, sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja.

Objetivos Específicos

- Determinar los requerimientos de riego del tomate de árbol en la zona en función a la relación suelo-agua-planta.
- Diseñar un sistema de riego por goteo en el predio “María Auxiliadora” del sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja.

4. Marco teórico

En el presente capítulo se especifican fundamentos teóricos sobre temas relacionados al cultivo de tomate de árbol, junto a los requerimientos edafoclimáticos, variables hidráulicas y definiciones de la aplicación de riego por goteo que se fueron concebidos para el diseño.

4.1 Cultivo de Tomate de Árbol (*Solanum betaceum*)

Se la conoce popularmente como tomate de árbol (*Solanum betaceum*) pertenece a la familia Solanáceas, considerada también tomates tropicales, tiene otras denominaciones como tomate palo, tomate silvestre, tomate extranjero en Centroamérica o tamarillo en España. Especie originaria de los Andes del Perú y del sur de Ecuador, dispersa en otros países como Chile, Bolivia, Brasil y Colombia, es una planta de climas templados y fríos que no necesita gran humedad, por lo que se adapta a climas secos y se cultiva frecuentemente en zonas altas, en altitudes que oscilan de 1000 a 3000 m s.n.m., en el caso de altitudes inferiores la fructificación es menor, debido a que la temperatura no es lo suficientemente baja durante la noche (Julca & Amaya, 2006).

El tomate de árbol se caracteriza por ser una fruta altamente nutritiva, rica en vitaminas A, B6 y C, también posee contenidos altos en minerales como potasio, hierro y fósforo, con bajos niveles de calorías, tiene un pH ácido y sabor agridulce, cuyos factores la hacen atractiva para el procesamiento industrial (Ortiz et al., 2002).

La cosecha del tomate empieza de 8 a 10 meses después del trasplante, y se realiza a medida que maduran los frutos; estos están listos para su recolección 5 meses después de la floración; el cultivo de tomate tiene una producción intensa por los 5 primeros años, rindiendo aproximadamente unos 20 kg de fruto al año, en campos comerciales puede llegar de 15 - 17 t/ha (Acosta, 2011)

La clasificación taxonómica del tomate de árbol se observa en la Tabla 1:

Tabla 1. Clasificación botánica del cultivo de tomate

Reino: Vegetal.	Orden: Tubiflorales.
División: Fanerógamas.	Familia: Solanaceae.
Subdivisión: Angiospermas.	Género: <i>Solanum</i>
Clase: Dicotiledóneas.	Especie: <i>betaceum</i>
Subclase: Metaclamideas.	

Fuente: Zapata (2014)

4.1.1 Descripción Botánica del cultivo de Tomate de Árbol (*Solanum betaceum*)

Según la FAO (2006) describe al tomate de árbol como una planta arbustiva semileñosa de hoja ancha, de gran follaje y que puede alcanzar una altura de 2 a 3 m y con las siguientes características botánicas:

- **Raíz:** Puede alcanzar profundidades de hasta 1 m, donde la mayor concentración de raíces se encuentra a 25 cm de profundidad, denominadas raíces absorbentes; la longitud de la raíz y profundidad dependerá del tipo de suelo en el que se siembre, de la aplicación de fertilizantes, abonos y el sistema de riego que se utilice.
- **Hoja:** Firmes y follaje siempre verde de forma ovalada, tiene hojas alternas enteras en los extremos de las ramas y que pueden medir de 40 a 50 cm, mientras que las hojas secundarias alcanzan los 20 cm.
- **Flor:** Las flores se ubican en las axilas, bajo o sobre las hojas y se pueden encontrar hasta 40 flores de color blanco, con franjas de color rosado tenue o morado.
- **Fruto:** Es una baya de forma ovalada u ovoide, con un pedúnculo largo, que presenta una coloración verde cuando esta inmadura y su longitud puede variar de 6 a 9 cm, su ancho de 4 y 6 cm. Está cubierta por una capa fina lisa y resistente a manera de piel que la protege del transporte, razón por la cual se retira la corteza para consumir el fruto. La pulpa es de color anaranjado o vino dependiendo de la variedad, de sabor agridulce, agradable y jugoso, dentro de la cual se pueden encontrar entre 300 y 500 semillas.

4.1.2 Requerimientos Hídricos y Edáficos del Cultivo de Tomate de Árbol (*Solanum betaceum*)

Los cultivos de tomate necesitan 1 500-2 000 mm/año, si estas necesidades no se satisfacen, se requiere un riego adicional. Los riegos deben hacerse lentamente a lo largo de la temporada de crecimiento, aumentando gradualmente la frecuencia al comienzo de la cosecha. Para suelos de tipo franco, se recomienda regar a razón de 8 a 10 días en maceta o dosel, aplicando 40-50 l/planta en producción; cuando se utiliza surcos, la repetición es una vez cada 12 a 15 días, aportando 50 - 60 l/planta (Feicán et al., 2016).

Para el cultivo de tomate se recomienda el riego por goteo mediante aplicaciones localizadas, reduciendo así la pérdida de agua por erosión, minimizando el exceso de agua en la superficie del suelo y evitando mojar las partes aéreas de la planta. Es importante aplicar riego siempre y cuando la planta y el suelo lo necesiten, ya que gran parte de las pérdidas pueden ser ocasionadas por una mala decisión de riego (S.A.S, 2015). La temperatura óptima para el

cultivo varía entre 14 y 20 °C, que hace que produzca a partir de los 10 a 12 meses; el tomate de árbol requiere suelos con un pH ligeramente alcalino de 6 a 8, y un buen contenido de materia orgánica (4,5 %), y se cultiva generalmente en suelos de textura franco a franco arenoso, fértiles, permeables y profundos con buen drenaje para evitar la pudrición de la raíz (Barriga Perugachi, 2012; Morales et al., 2000)

4.2 El Suelo

Monge (2018) menciona que el suelo, además de ser soporte y fuente de nutrientes, es también el hábitat de una amplia variedad de organismos, ya que está compuesto por partículas minerales, materia orgánica, humedad y aire que queda retenido en sus poros, los cuales son tomados por las plantas para su crecimiento. El suelo agrícola puede ser muy variable dependiendo de la textura y la estructura de las partículas que lo componen.

4.2.1 *Propiedades Físicas del Suelo*

Las propiedades físicas determinan la rigidez, fuerza de sostenimiento, porosidad para la penetración de raíces y circulación del aire, la capacidad de drenaje y almacenamiento del agua, la plasticidad y retención de nutrientes, los cuales influyen en la capacidad del uso que se le puede dar al suelo (Rucks et al., 2004).

Las propiedades físicas del suelo influyen en el uso del suelo y el crecimiento de las plantas, se describen a continuación:

Profundidad efectiva: es uno de los principales factores que determinan la cantidad de agua que puede retener el suelo, además, influye en el espacio de exploración de las raíces, mayores niveles de humedad, aire, temperatura y nutrientes, por lo que los suelos profundos son aptos para que la planta se desarrolle en óptimas condiciones, caso contrario se debe conocer sus características para definir el tipo de cultivo que se puede desarrollar en un determinado suelo (Keller, 1975 citado por Calvache, 2013).

Textura: Los suelos están formados por partículas minerales cuyos tamaños y formas varían ampliamente, dependiendo de las proporciones relativas de los diversos tamaños de sus partículas minerales (arena, limo y arcilla); las texturas gruesas como las arenas poseen mayor proporción de macroporosidad mientras que en las texturas finas como las arcillas predomina la microporosidad sobre los poros de mayor diámetro. Todo esto explica por qué los suelos finos tienen mayor capacidad de almacenar el agua (Angella et al., 2016).

Estructura: Campos (2013) menciona que la estructura está compuesta por partículas sólidas que forman agrupamientos texturales llamados agregados y que se mantiene unidos a través del tiempo dando lugar a los micro y macroporos. Desde el aspecto morfológico, la estructura del suelo se define por la forma, tamaño y el grado de manifestación de los agregados. Un suelo con buena distribución de sus partículas es fácil de cultivar, tiene suficiente aireación, no es arrastrado por el viento o el agua, por tanto, las raíces de las plantas tienen un buen desarrollo.

Densidad aparente: se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g/cm^3 o t/m^3), describe la compactación del suelo representando la relación entre sólidos y espacio poroso. Es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la prolongación de las raíces. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas por la compactación de las partículas (Taboada y Alvarez, 2008). Por otro lado, Monge (2018) menciona que es importante conocer su valor para efectos de riego, porque en base a esta se caracteriza la capacidad de almacenaje del agua en el suelo.

Densidad real: La densidad real del suelo es la relación que existe entre el peso de suelo seco (P_{ss}) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (V_p), es decir, que corresponde a la densidad media de la fase sólida o densidad de las partículas. Para un horizonte dado, será prácticamente constante a lo largo del tiempo al ser independiente de la estructura y variar poco la naturaleza. Se expresa en g/cm^3 (Foth, 1897 citado por Castillo, 2005).

4.2.1.1 El Movimiento del Agua en el Suelo. Cuando el agua del suelo está en equilibrio, el potencial total en el sistema es constante, por lo tanto, no hay movimiento; solo cuando las condiciones de equilibrio se rompen y se genera una diferencia de potencial entre los diferentes puntos del sistema existe movimiento. El agua en el suelo puede moverse de forma líquida o en forma de vapor, dependiendo de la situación de humedad que se presente en él, mientras el agua no esté saturado ni muy seco, el agua se mueve en estado líquido y en forma de película, rodeando las partículas sólidas y las paredes de los poros (FAO, 2005).

Angella et al., (2016) manifiesta que, si a un suelo se agrega agua en superficie, en la capa superior los poros se llenan casi totalmente con el líquido, este comienza a moverse a partir de una zona de transición en condiciones de flujo insaturado siguiendo el gradiente de potencial, es decir, hacia las capas más profundas del suelo. Según Jordán (2009) el grado de energía que experimenta el agua representa una medida de la tendencia al cambio, en el sentido de disminuir

su energía, estas fuerzas condicionan el estado energético del agua y básicamente son las siguientes:

- Fuerza de la gravedad.
- Fuerzas derivadas de la matriz.
- Fuerzas de difusión.
- Fuerzas derivadas de iones en solución.
- Fuerzas externas (variación en la geometría de los poros, presión de gases, presión hidráulica en suelos saturados, etc.).

4.2.2 Potencial Hídrico

García et al., (2018) definen al potencial hídrico como “*el trabajo requerido para transferir una unidad minúscula de agua, desde un estado de referencia (donde el potencial es tomado como cero) a la situación donde el potencial tiene un valor definido*”. Lo que determina el potencial es un nivel de energía relativo comparado con un nivel de referencia, ese nivel de referencia se determina arbitrariamente donde el agua cumple con los siguientes requisitos: es pura, es libre, está a presión atmosférica y temperatura conocida y a una ubicación o altura conocida.

Sin embargo, el agua en el suelo está sujeta a diversas fuerzas que hacen que su potencial difiera de aquel del agua libre. Estas fuerzas son de retención por la matriz sólida del suelo, por las sales disueltas que contenga el agua y gravitacionales. De modo que el potencial hídrico total en el suelo (Ψ_T) es la suma de diversos componentes debido a las fuerzas que actúan sobre el agua (Pachés, 2019).

El potencial hídrico total del agua del suelo está determinado por:

- **Potencial Gravitacional**

Según Graff (2004), el potencial gravitacional representa la influencia del campo gravitatorio y normalmente es positivo, si bien esto depende de la posición elegida para el estado de referencia; si el nivel de referencia está por encima, el potencial gravitacional es negativo ($\Psi_g < 0$), y es positivo ($\Psi_g > 0$), cuando el nivel de referencia está por debajo dicho potencial.

- **Potencial Mátrico**

El potencial mátrico, es el potencial de la interacción de las partículas del suelo con el agua, donde se asocian las propiedades físicas mediante fuerzas de adhesión y cohesión con que el suelo retiene el agua. Este potencial existe en todo el sistema de suelos y equilibra el estado de humedad, su valor es siempre negativo ya que la presión que origina se opone a la salida del agua desde el suelo, lo que en términos prácticos quiere decir que para extraer esa agua retenida por el suelo hay que aplicar presión (positiva) (ECOTEC, 2020).

- **Potencial Osmótico**

El potencial osmótico ocurre debido a la concentración de sales en el suelo, el agua del suelo es una solución salina y por lo tanto puede dar lugar al fenómeno de osmosis; es decir al paso del agua a través de una membrana semipermeable que separa a dos soluciones de distinta concentración, desde la solución más diluida a la más concentrada. Su valor es nulo en agua pura y valor negativo cuando hay sustancias disueltas (CONGOPE, 2017).

- **Potencial de Presión**

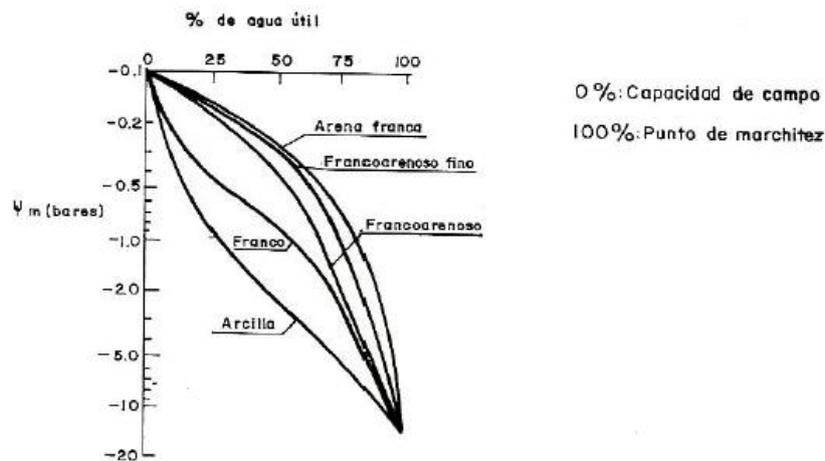
Según Angella et al., (2016) el potencial de presión es la parte del potencial total por la presencia de distintas presiones sobre un punto de referencia, tal como ocurre en los suelos saturados por la presión de la columna de agua. Este será positivo (Ψ_p) si el punto en cuestión está por debajo del nivel freático, mientras que en suelos no saturados se considera nulo.

4.3 Curva de Retención de Humedad

Las curvas de retención de humedad (*CRH*) en el suelo expresan la relación existente entre el contenido de humedad y su potencial matricial, además reflejan la capacidad del suelo para retener agua en función de la succión; dicha relación depende de los factores relacionados con la porosidad del suelo. La relación de suelo-agua-uso está representada por la capacidad de retención de humedad, cuyo conocimiento es fundamental para comprender los procesos hidráulicos que ocurren en el suelo (Bejar Pulido et al., 2020).

A continuación, en la Figura 1 se muestra las curvas de retención de humedad en los diferentes tipos de suelos.

Figura 1. Curva de retención de humedad.



Fuente: Pizarro (1996)

Un tramo horizontal en las curvas se producen cuando a pequeñas diferencias de potencial mátrico corresponden grandes diferencias de humedad, lo que indica que en ese tramo hay muchos poros del mismo tamaño. Por el contrario un tramo vertical indica pocos poros del tamaño a que corresponda el potencial matricio. Una inclinación del orden de 45° muestra una distribución uniforme de los poros.

4.3.1 Capacidad de Campo (CC)

Se define como el contenido de humedad retenida en un suelo después que el agua se haya drenado y que la tasa de drenaje sea prácticamente nula, que puede tardar dos a tres días posteriores a una lluvia o riego en suelo permeable y textura uniforme. La CC es aceptado como un criterio práctico y útil para fijar el límite superior de humedad aprovechable, importante para fines de diseño y operación de sistemas de riego y se expresa normalmente en porcentaje (Ojeda et al., 2018).

4.3.2 Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Se define el contenido de humedad en la zona radicular del cultivo, al cual las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración, por lo tanto, cuando el suelo alcanza valores de PMP, las plantas tienden a marchitarse y no son capaces de recuperarse aun cuando se coloquen durante una noche en una atmósfera saturada. Al igual que la CC, se expresa en porcentaje en base a masa (g de agua x g de suelo seco) (Monterroso, 2015).

4.3.3 Saturación

Hace referencia al contenido de humedad que tiene el suelo cuando el agua alcanza a llenar los macros y micro poros desalojando al aire, esto generalmente sucede luego de una lluvia o riego abundante, y si esta se prolonga las plantas tienden a ahogarse (CONGOPE, 2017).

Meza (2012) indica que la condición de saturación se manifiesta en suelos situados por debajo del nivel de agua freática después de un riego o precipitación, donde los espacios vacíos o poros del suelo están ocupados por agua.

4.3.4 Umbral de Riego

Se encuentra entre la capacidad de campo y el punto crítico, el cual está definido como el porcentaje al que se permite bajar la humedad del suelo antes de regar, sin que la producción disminuya y se encuentra entre el valor de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Este varía con el tipo de cultivo, etapa de desarrollo del cultivo, suelo y clima y debe ser evaluado en experimentos; por lo tanto, se aplica agua a la planta fijando de esta manera un umbral de riego que es un porcentaje de humedad que tiene que consumirse antes de que se riegue nuevamente (Silva et al., 2015).

4.3.5 Humedad Utilizable

Conocida también como agua útil, es la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el límite mínimo de extracción punto de marchitez permanente (PMP), rango en el cual el cultivo puede extraer agua desde la zona de crecimiento radical, es decir, de toda el agua que se encuentra presente en el suelo, solo esta fracción puede ser utilizada por las plantas. Conocer este parámetro es de gran importancia ya que permite predecir cuál será el máximo rendimiento al que puede aspirar un cultivo establecido en un determinado terreno (Assan & Gorosito, 2018).

4.4 El Riego

Tapia (2014) define al riego como la aplicación de agua de manera artificial a un determinado terreno con el fin de que este recupere un nivel de humedad que sea aprovechable por las plantas, permitiéndoles su desarrollo y rendimiento adecuado, además el riego para un cultivo está compuesto por un conjunto de equipamientos y técnicas de gestión que asegura la captación de agua, almacenamiento, transporte y distribución a los regantes.

4.4.1 *Métodos de Riego*

Existen diferentes formas de aplicar el agua al suelo y que han ido evolucionando con el tiempo, desde las primeras civilizaciones con una aplicación a partir de las crecidas de los ríos, hasta llegar a lo que conocemos hoy en día como riegos tecnificados y automatizados que aprovechan los avances de la ciencia (Tapia, 2014).

De acuerdo a Fernández et al., (2010), el uso de un método de riego va a depender de la topografía del terreno, características físicas del suelo, tipo de cultivo, disponibilidad y calidad de agua, coste de instalación y daño al medio ambiente; los métodos más representativos para aplicar agua en el suelo son:

- **Riego superficial:** El riego por superficie incluye una variedad de tipos de riego que tienen la característica común de que el agua se aplica en la superficie del suelo y se distribuye en el campo por gravedad, de modo que el caudal de riego disminuye a lo largo del campo debido a la infiltración del terreno; el riego por gravedad o superficie posee una eficiencia de riego promedio del 45 al 60%.
- **Riego por aspersión:** Consiste en aplicar el agua imitando la lluvia, es decir, mediante un chorro de agua pulverizada en gotas; el mecanismo funciona a través de una red de tuberías que transporta el agua hasta los aspersores, los cuales utilizan presión para dispararla, potenciado a través de un sistema de bombeo o por presión de altura; el sistema de riego por aspersión puede alcanzar eficiencias de aplicación entre 80 y 85 %, considerando la velocidad del viento.
- **Riego localizado:** Este método de riego facilita un ahorro importante de agua con respecto a otros, consiste en la aplicación de agua sobre la superficie del suelo o bajo éste, de manera que sólo se moja una parte del suelo, denominado bulbo humedo.

4.5 **El Riego por Goteo**

los sistemas de riego por goteo son conductos de tubería y emisores que entregan pequeñas cantidades de agua a los cultivos, en forma de gotas; son sistemas que aplican un riego no mayor a 16 l/h por gotero o metro lineal de manguera de goteo, humedeciendo únicamente el área deseada y optimizando el agua disponible (Liotta, 2015).

Por otro lado, Fernández (2010) lo define como el método de riego más tecnificado, y con el que más fácil se aplica el agua de manera eficiente. De igual forma, el manejo del riego es bastante distinto ya que el suelo pierde importancia como almacén de agua; se riega con bastante frecuencia, en determinados casos todos los días, de forma que se mantiene un nivel

de humedad óptimo en el suelo. Además, la cantidad de agua aportada en cada riego es mucho menor que en los otros métodos de riego. Sin embargo, requiere un buen diseño, una alta inversión en equipos y un mantenimiento concienzudo lo que supone un alto coste que podrá ser asumido en cultivos de alto valor comercial.

4.5.1 Componentes del Sistema de Riego por Goteo

Una instalación de riego por goteo debe contar como mínimo con los siguientes componentes.

4.5.1.1 Fuente de Abastecimiento. Se define a la fuente de abastecimiento de agua como aquel punto o fase de ciclo natural del cual se desvía o aparta, temporalmente para ser usada regresando finalmente a la naturaleza. Un sistema de abastecimiento de agua está formado esencialmente por: la fuente de agua y su obra de captación, obras de conducción o transporte, almacenamiento, tratamiento y distribución. Las fuentes de abastecimiento por lo general deben ser permanentes y suficientes, cuando no son suficientes se busca la combinación de otras fuentes de abastecimiento para suplir la demanda o es necesario su regulación (Angarita & Meléndez, 2013)

4.5.1.2 Cabezal de Riego. De acuerdo con Cadena (2016), el cabezal de un sistema de riego está compuesto por un conjunto de accesorios que permiten suministrar agua al sistema con un nivel adecuado de limpieza, caudal y presión, además de que permite incorporar fertilizantes; del cabezal depende en gran parte, el buen funcionamiento del sistema de riego, este se encarga de regular el suministro de agua y prácticas agrícolas, como la aplicación de fertilizantes y pesticidas. Los elementos básicos son: equipo de tratamiento del agua, filtros, equipo de fertilización, válvulas de distribución y de corte.

Equipo de bombeo: compuesto por bombas con suficiente potencia dependiendo de la superficie a regar. Sus dimensiones deben ser adecuados, de manera que la presión requerida sea suficiente para vencer las diferencias de altura y las pérdidas de carga de todo el sistema (Liotta, 2015).

Sistema de infiltración: es el componente fundamental del cabezal de riego, compuesto de distintos tipos de filtros cuya finalidad es eliminar partículas y elementos que puede ocasionar obstrucciones en la red de riego, principalmente en los emisores. Si el agua contiene partículas en suspensión, es oportuno realizar un pre filtrado, una vez las partículas se hayan eliminado, el agua está lista para la distribución en red. En el riego por goteo se utilizan filtros hidrociclón, de arena, de malla y de anillas o discos (Mendoza, 2013).

Fertilización: la instalación de riego por goteo permite realizar la fertiirrigación, es la técnica que hace más eficiente el uso del agua y nutrientes, ya que son suministrados al mismo tiempo y de manera localizada. Entre las ventajas más notables están el ahorro de fertilizantes, el suministro fraccionado de nutrientes y mayor eficiencia en el uso de agua. Sin embargo, su mayor limitante está en la inversión inicial, ya que requiere sistemas de riego de alta frecuencia y eficiencia, con la finalidad de aprovechar cada gramo de fertilizante aplicado en el riego (Bohórquez, 2014).

Válvulas: Son elementos indispensables en las conducciones de regadío, cuya finalidad es interrumpir la circulación del agua cuando el tiempo de riego ha terminado, o bien aislar varios tramos de la conducción que permite realizar reparaciones y trabajos de mantenimiento, sin necesidad de vaciar todo el sistema. Así mismo, tiene la función de regular el caudal y la presión del agua de riego. Su uso dependerá de la actividad que se quiera realizar (Monge, 2018).

4.5.1.3 Red de Distribución. Conocida como red de tuberías que llevan el agua filtrada y tratada desde el cabezal de riego, además contiene elementos o accesorios para adaptar las tuberías a la configuración de la parcela y tamaño de la misma. Montalvo (2005) define a las tuberías como el conjunto de conducciones que, ramificándose en el grado necesario llevan el agua a todas las subunidades de riego, normalmente son de PVC.

Kay (2017) indica que, es indispensable que la red de distribución tenga la capacidad de llevar el flujo de diseño, que pueda resistir fuerzas externas e internas, ser duraderas, y poseer una vida útil larga, por lo cual se recomienda conocer los tipos de tuberías disponibles, instalación y uso, tipos de accesorios y válvulas que necesitan.

4.5.1.4 Unidad de Riego. Se denomina unidad de riego al conjunto conformadas por laterales y emisores que riegan de forma simultánea en un mismo punto, que se sitúa normalmente al inicio de una tubería secundaria. Al realizar la evaluación se anotará el número de unidades de riego, la superficie de cada una de ellas y el número de subunidades con las que constan. Para realizar una buena instalación, es de gran utilidad realizar un croquis con la disposición de las unidades y subunidades de riego, en el que se incluyan las superficies (Férrandez et al., 2010).

Tuberías: las tuberías más empleadas son de PVC que se usan por lo general de diámetros superiores a 50mm para las líneas de distribución primaria, secundaria y terciaria. En grandes instalaciones las tuberías principales tienen un diámetro superior a 200mm. Las

tuberías de distribución de agua se ubican a lo largo de la hilera de las plantas y el conjunto de estas toma el nombre de laterales o ramales de riego (Liotta, 2015).

Emisores: Los emisores o goteros son los dispositivos por medio de los cuales se aplica el agua al suelo. Dado que el agua que circula en los laterales de riego posee presión, los goteros son los encargados de disipar la presión del agua de tal forma que sale en forma de gota (Mendoza, 2013).

4.6 Diseño de un Sistema de Riego por Goteo

El diseño de este sistema considera la eficiencia de conducción y aplicación, uniformidad de distribución y emisión, razón por la cual ha sido implementado en cultivos hortícolas y frutícolas en todo el mundo (INTAGRI, 2019). Dentro de la implementación de esta tecnología, es necesario realizar el diseño agronómico e hidráulico los cuales se describen a continuación:

4.6.1 Diseño Agronómico

Según Pizarro (1996) el diseño agronómico es un componente de gran importancia dentro de la planificación de riego, y también el que más dificultades presenta por el uso de fórmulas, coeficientes, tablas, etc. Por lo tanto, es la fase donde más atención se debe prestar, así como, observar la realidad del cultivo al momento de regar. Para ello, este proceso se desarrolla en dos fases que son: el cálculo de las necesidades de agua; y la determinación de dosis, frecuencia y tiempo de riego, número de emisores por planta, duración de riego, etc.

4.6.1.1 Necesidades de Agua. Según Villafáfila & Wyss (2009), las necesidades hídricas están definidas como la cantidad de agua requerida por las plantas para reponer el consumo producido por la evapotranspiración y el agua retenida en las plantas, la que se determina a través de la evapotranspiración del cultivo para ser compensado a través del riego.

4.6.1.2 Evapotranspiración de Referencia. Las necesidades de agua de riego de los cultivos se basan en la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) de cada lugar en particular. Este parámetro constituye la columna vertebral del diseño agronómico en todo sistema de riego, una sobreestimación de ET_o en 1,0 mm, influirá en el incremento del volumen utilizado de agua en 10 m³/ha, por cada riego, sufriendo mayores costos de producción, además de generar condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades fungosas (Ortiz & Chile, 2020).

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) es el conjunto de la evaporación desde el suelo y la transpiración de la planta, y como resultado el consumo total del agua para el desarrollo

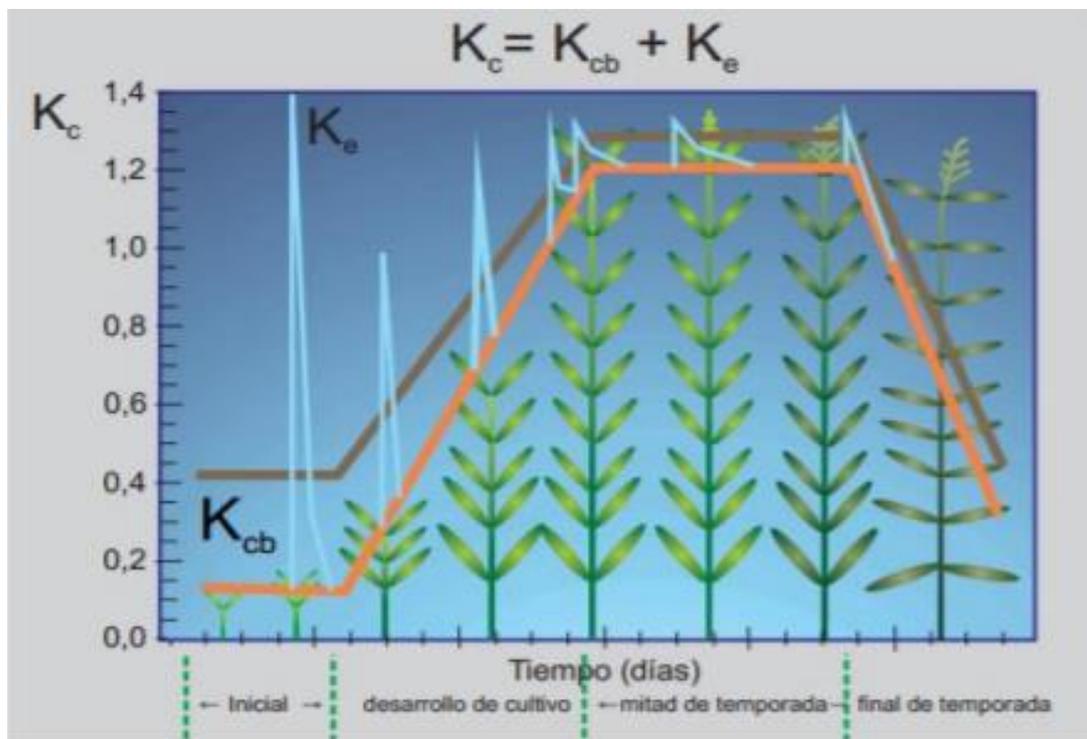
del cultivo, es decir, que con dicha información se obtendrá el volumen requerido de agua para satisfacer los cultivos (Cisneros et al., 2015).

4.6.1.3 Coeficiente de Cultivo. Este valor es diferente para todos los cultivos y se verá afectado por las características del cultivo que varían según las fases fenológicas del cultivo y por algunas prácticas culturales. Los coeficientes de los cultivos anuales (sembrados en hileras) varían enormemente a lo largo del año, entre un valor muy pequeño en las primeras etapas del cultivo (cuando la planta está recién nacida) y un valor mucho mayor cuando el cultivo está completamente desarrollado (el suelo totalmente cubierto) (Herrera et al., 2020).

El K_c tendrá una variación estacional en función a las siguientes fases fenológicas o de desarrollo del cultivo (SNIP, 2012):

- Fase Inicial: germinación y crecimiento inicial, 10% de cobertura.
- Fase de Desarrollo: desde el final de fase inicial hasta 70% a 80% de cobertura.
- Fase de Maduración: desde cobertura completa hasta inicio de maduración (caída de hojas).
- Fase Final (cosecha): desde el final de fase anterior hasta la cosecha.

Figura 2. K_c de un cultivo en base a la necesidad de agua de acuerdo a su etapa fenológica



Fuente: FAO 56, 2004

4.6.1.4 Lluvia Efectiva.

La precipitación efectiva es la parte de la lluvia caída en un sitio determinado que puede ser aprovechada directa o indirectamente por los cultivos establecidos en el área; depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación o la aridez del clima, y también de otros como la inclinación del terreno, contenido de humedad del suelo o velocidad de infiltración. Las ecuaciones empíricas para estimar la precipitación efectiva (Pe), que tienen en cuenta las pérdidas de agua por escorrentía y percolación, son (Villazón et al., 2021):

$$Pe = 0.8 P - 25 \quad \text{Si: } P > 75 \frac{\text{mm}}{\text{mes}}$$
$$Pe = 0.6 P - 10 \quad \text{Si: } P < 75 \frac{\text{mm}}{\text{mes}}$$

4.6.1.5 Lámina Neta.

Durante la aplicación de riego al cultivo, se debe aplicar una lámina de agua de manera que pueda satisfacer o cubrir el agua que ha sido utilizada durante la evapotranspiración. Para el cálculo de la lámina neta, se requiere conocer los siguientes parámetros:

- Humedad disponible del suelo ($CC - PMP$)
- El agotamiento de la humedad disponible del suelo.
- La profundidad radical efectiva del cultivo.

Se pueden utilizar estudios previos para el cultivo en estudio, preferiblemente realizados en la misma zona, una vez que se conozca la textura del suelo. Sin embargo, algunos datos sobre humedad disponible en diferentes tipos de suelo no siempre coinciden (Castro, 2009).

La lámina neta máxima de agua se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$Ln = (CC - PMP) * Pr * Ag$$

Ln = Lámina neta por riego (mm)

CC = Humedad del suelo a capacidad de campo (%)

PMP = Humedad del suelo a punto de marchitez permanente (%)

Pr = Profundidad del suelo que las raíces explotan de manera efectiva (cm)

Ag = Agotamiento de la humedad disponible permitido

Según Maldonado (2007) la CC se define como la capacidad del suelo de retener agua en condiciones de libre drenaje, luego del escurrimiento o encharcamiento superficial. Por otro

lado, el PMP corresponde al contenido de humedad del suelo al cual las plantas se marchitan, donde el agua se encuentra retenida para la succión de las raíces al extraer la humedad. Dependiendo de la sensibilidad del cultivo, es posible permitir cierto agotamiento de la humedad total del suelo, el cual 50% es el aconsejable para que la humedad disponible se considere aceptable. La profundidad radical efectiva puede ser obtenida de la experiencia bajo condiciones climáticas y de riego similares, o de la literatura.

4.6.1.6 Necesidades Netas.

Es la cantidad de agua, expresada en altura de lámina de agua por metro cuadrado de superficie de suelo, se denomina lámina de agua requerida. No toda el agua que se aporta al suelo mediante riego es aprovechada por las raíces del cultivo, sino que parte se pierde por escorrentía y/o filtración profunda. Es decir, es la cantidad de agua necesaria para que el cultivo crezca y desarrolle en su máximo rendimiento, sin causar estrés hídrico (Quinde & Zhagui, 2019).

4.6.1.7 Diámetro del Bulbo Húmedo del Gotero.

Se conoce por bulbo húmedo al volumen de suelo humedecido por un emisor de riego localizado, en donde a medida que avanza el tiempo de riego, el agua se filtra en vertical y horizontal, haciéndose el bulbo húmedo más extenso y profundo. La forma del bulbo está condicionada por el tipo de suelo, en suelos arcillosos la infiltración es menor que en suelos ligeros de textura arenosa (Monge, 2018).

4.6.1.8 Solape.

Montalvo (2005) menciona que una de las ventajas del riego localizado es que la zona regada es superior a la humedecida, donde esta última zona debe ocupar una superficie mínima por dos razones fundamentales. Por un lado, debe asegurarse que el sistema radicular explore un volumen de suelo mínimo y, por otra, debe contar con suficiente reserva de agua en el suelo. En un cultivo intensivo, la proximidad de las filas de plantas y el solape de los bulbos húmedos hace que, en realidad, el tanto por cien de suelo mojado respecto al regado sea del 100 %, sin embargo, en los cultivos leñosos no tiene sentido agronómico ni económico alcanzar este valor.

4.6.1.9 Lamina Bruta.

La lámina bruta se define como la lámina neta afectada por la eficiencia, donde el suministro de agua del cultivo debe estar diseñado en base a las necesidades netas de la planta, ya que gran parte se pierde por escorrentía, evaporación, arrastre del viento, entre otros (Castro,

2009). Por lo tanto, no hay una aplicación de 100% de eficiencia debido a que no toda el agua que penetra el suelo es retenida y aprovechada por las plantas, lo que provoca algunas pérdidas, aunque en un sistema localizado la eficiencia es del 90% con la que se ajusta la lámina neta, y pasa a llamarse lámina bruta (Lb) y que es igual a la lámina neta de agua dividida entre la eficiencia de riego del sitio (Ticona, 2013).

En la Tabla 2 se presenta las eficiencias de aplicación del agua.

Tabla 1. Eficiencia de sistemas de riego

Método de riego	Eficiencia de riego (%)
Tendido	30
Surcos	45
Californiano	65
Aspersión	75
Microjet	85
Microaspersión	85
Goteo	90

Fuente: (Antunez et al., 2009)

4.6.1.10 Intensidad de Precipitación.

El caudal que sale por el emisor y la superficie del suelo que está mojado por el mismo, se denomina intensidad de precipitación que es una característica del equipo o sistema aplicado a la planta llamado riego localizado, que consiste en aplicar milímetros de agua en una unidad de tiempo, además, esta acción tiene varios efectos sobre el cultivo. Cuando la superficie mojada es pequeña, la evapotranspiración se reduce, mientras que la transpiración es ligeramente superior porque el aire circundante alrededor de la planta encuentra más caliente, lo que provoca una reducción neta de la evapotranspiración del cultivo (ETc) de 10 a 15 % (Olguín, 2016).

4.6.1.11 Frecuencia de Riego.

Representa la cantidad de días que se debe esperar para volver a regar y poder mantener las condiciones ideales de humedad del suelo, es decir va en función de la condición de suelo, clima, las pérdidas en el periodo contemplado entre dos riegos y el nivel de consumo según el tipo de cultivo (Hernández, 2016).

En los riegos localizados de alta frecuencia las pérdidas dentro de la parcela son nulas, en su lugar existen pérdidas producidas por percolación no controlable fuera del alcance

radicular, falta de uniformidad de descarga de los emisores y a las producidas por la salinidad del agua de riego. En algunos casos, se aporta cantidades adicionales de agua para compensar esas diferencias, de forma que todas las plantas reciban como mínimo la dosis neta de riego. El intervalo entre riegos es función de la capacidad de retención de agua del suelo, de la ETc del cultivo y de la calidad del agua de riego (Martinez, 2014).

4.6.1.12 Duración del Riego.

Se refiere al tiempo que el sistema debe permanecer regando hasta que penetre a la profundidad de las raíces, el cual debe estar en funcionamiento para cubrir los requerimientos de agua del cultivo y reponer lo que se ha perdido por acción de la evapotranspiración. Este valor se calcula dividiendo la lámina total para la velocidad de infiltración del suelo (Cadena, 2016).

4.6.1.13 Tipos de Emisores.

De acuerdo con Liotta (2015), los goteros o emisores de riego son instrumentos que aplican agua a la planta en pequeñas cantidades en forma de gotas, son utilizados para lograr el máximo aprovechamiento del agua y un uso preciso de productos químicos, se clasifican de la siguiente manera:

- ***Por su instalación en la tubería.***

En la línea. Son goteros que se instalan cortando la tubería e insertando los extremos del gotero, en los sitios de corte.

Sobre la línea (goteros de botón o goteros pinchados). Se instalan en la tubería en un orificio realizado con un equipo de perforación, estos goteros se pueden colocar en tuberías de distintos diámetros.

En integración o integrados. Se implantan en la tubería de polietileno durante el proceso de extrusión de la misma, con distintos espaciamientos (30 cm, 50 cm, etc.) y distintos caudales, están termo soldados en el interior.

Cintas de riego. Tubería integral de paredes delgadas con orificios en la misma cinta o goteros termo soldados en su interior.

- ***Por su comportamiento hidráulico.***

Normales o estándar, laminares. Son goteros que cuanto mayor sea la presión existente más caudal de agua arrojan. Este tipo de goteros a su vez pueden ser de conducto largo, laberinto u orificio.

Autocompensantes. Son goteros que mantienen el caudal más o menos constante, aunque varíe la presión de entrada, dentro de un determinado rango de presión, al que se denomina intervalo de compensación. Adecuados para lugares donde hay grandes diferencias de presión debidas a desniveles topográficos o cuando existen a lo largo de la tubería, lateral grandes pérdidas de carga.

4.6.2 Diseño Hidráulico.

Partiendo desde las necesidades de riego obtenidos en el diseño agronómico, se realiza el diseño hidráulico, donde se considera en primer lugar los laterales de riego, teniendo en cuenta la tolerancia de presiones y caudales para escoger las tuberías adecuadas, pérdidas de carga y diámetros de tubería, seguidamente se realiza el diseño de la unidad de riego, se parte del extremo final hasta la cabeza del riego. (Liotta, 2015).

4.6.2.1 Importancia del Diseño Hidráulico.

El diseño hidráulico básicamente se centra, en las conducciones y elementos necesarios para suministrar agua a presión a los emisores de riego, de tal forma que los cálculos hidráulicos para todos los riegos a presión (goteo, aspersión, microaspersión) serán iguales, salvo en algunos detalles que diferencian a unos de otros. Así mismo se estudian las partes y elementos de que consta la red de riego: tuberías, válvulas, etc. Por lo tanto, en el diseño hidráulico se conoce los costos que tendrá la instalación de riego.

En la actualidad, de acuerdo a las diferentes problemáticas se ha visto la necesidad de introducir el riego localizado en nuevos proyectos de irrigación, transformando así los regadíos tradicionales, esto debido que, en el riego localizado la economía del agua es mayor, logrando cubrir una mayor extensión de cultivo (Martínez, 2014).

4.6.2.2 Distribución de las Pérdidas de Presión en la Unidad de Riego.

La pérdida de presión en una instalación de riego se ve afectada por la topografía del terreno y la carga que se produce en tuberías y accesorios, podrá ser mayor o menor

dependiendo del diámetro interior de las tuberías y de la geometría interna de los accesorios, a menor diámetro y mayor caudal, más pérdida de carga y viceversa (Monge, 2018).

Las pérdidas de carga en el sistema dependen principalmente de los siguientes condicionantes:

- Diámetro interior de la tubería.
- Longitud de la tubería (a mayor longitud de la tubería, mayor fricción del agua que se refleja en mayor pérdida de carga).
- Caudal (existe mayor pérdida de carga cuando el caudal incrementa).
- Rugosidad del tipo de material de la tubería en sus paredes interiores (aluminio, polietileno, PVC, fibrocemento, etc.).

4.6.2.2.1 Pérdidas de Carga Lineal o Continuas.

También conocida como pérdida de carga por fricción, esto se debe a los rozamientos del fluido con las paredes de las tuberías, dependen de parámetros como longitud, rugosidad de la tubería, viscosidad o densidad, y velocidad, del fluido (Fernández, 2010).

El cálculo de las pérdidas de carga lineales se realiza a través de varias fórmulas, las más utilizadas son las propuestas por Hazen – Williams y Darcy, se aplica a cualquier conducto y material, cuyos rangos de aplicación van desde 2” a 140” de diámetro (Naranjo et al., 2019).

La fórmula para calcular las pérdidas de carga continuas es la expresión universal de Darcy-Weisbach:

$$J = \frac{\Delta H_c}{L} = \frac{f}{DI} * \frac{v^2}{2g}$$

J= Pérdida de carga continua, por unidad de longitud (m/m)

V= Velocidad de circulación del agua (m/s)

ΔH_c = Pérdida de carga continua (m)

L= Longitud del tramo (m)

DI= Diámetro interior del tubo (m)

G= Aceleración de la gravedad (m/s²)

F= Coeficiente de pérdida de carga por unidad de longitud (adimensional)

4.6.2.2.2 *Pérdidas Localizadas.*

A diferencia de la pérdida continua, éstas son causadas por fenómenos de turbulencia originados en puntos específicos de los sistemas de tuberías, como, por ejemplo: en válvulas, codos, cambios de dirección, juntas, derivaciones, ampliaciones, contracciones y accesorios de tuberías, cuando el fluido cambia de dirección. La velocidad del flujo dentro del accesorio se estima en base al caudal y diámetro interno del accesorio, en ella se considera un porcentaje de las pérdidas de carga por fricción, entre el 10 y 20% (Jiménez, 2017).

$$h_i = K * \frac{v^2}{2g}$$

h_i= Pérdida por accesorio (m)

K= Coeficiente de resistencia (depende del elemento que produzca la pérdida de carga)

v= Velocidad media del agua dentro de la tubería (m/s)

g= Aceleración de la gravedad (m/s²)

De igual manera las pérdidas en cargas localizadas se las puede encontrar mediante el concepto de longitud equivalente, que consiste en sumar a la extensión real de tubo, una longitud igual a las pérdidas de carga ocasionadas en las piezas especiales existentes en la tubería, si utilizamos la ecuación de Hazen-Williams tendríamos lo siguiente (Martínez, 2016):

$$h_l = 10,67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * \frac{LE}{D^{4,87}}$$

4.6.2.2.3 *Pérdidas por Salidas Múltiples.*

Las tuberías con salidas múltiples suelen encontrarse con frecuencia en la línea regante de los sistemas de riego presurizados, ya sea en los sistemas de aspersión, microaspersión o goteo. Esto hace que sea muy importante el diseño hidráulico de dichas tuberías (Jiménez & Ramirez, 2018).

En tuberías con salidas múltiples, a medida que el agua avanza, el caudal en el tubo se va reduciendo, por lo cual, las pérdidas de carga por fricción en estas tuberías será de menor magnitud que la pérdida de carga en una tubería simple sin salidas con las mismas condiciones (Bedoya & Ángeles, 2016).

Se presentan tres condiciones para el cálculo del factor (F) según sea el caso:

- a) Cuando el primer aspersor está ubicado a una distancia igual al espaciamiento entre aspersores en el mismo lateral.

$$F = \frac{1}{2n} + \frac{1}{B+1} + \frac{(B-1)^{1/2}}{6n^2}$$

- b) Cuando el primer aspersor está ubicado a la mitad de distancia del espaciamiento entre aspersores en el lateral.

$$F = \frac{2n}{2n-1} + \frac{1}{B+1} + \frac{(B-1)^{1/2}}{6n^2}$$

- c) Cuando el primer aspersor está ubicado al inicio de la entrada del lateral.

$$F = n \frac{\left[\frac{1}{B+1} + \frac{1}{2n} + \frac{(B-1)^{1/2}}{6n^2} \right]}{n-1}$$

F = Factor de Christiansen

B = Coeficiente en función del material de la tubería

n = Número de salidas

4.6.2.3 Diseño de la Tubería Lateral.

Según Liotta (2015) el lateral que lleva los emisores se considera como una tubería de salidas múltiples, y que son generalmente de polietileno. En el diseño de laterales se conoce la longitud, diámetro, caudal, presión de entrada, localización y diferencias de presión dentro del lateral.

El mismo autor menciona que para el diseño del lateral de riego se requiere algunos datos previos como son:

- Distancia entre emisores (m)
- Número requerido de emisores (u)
- Pendiente del terreno en el sentido del lateral (%)
- La distancia hasta el primer emisor (m)
- Longitud neta requerido del lateral (m)
- La presión nominal de trabajo del emisor (mca)
- Perdida máxima total de carga en el lateral (mca)

- Descarga nominal del emisor (l/h)
- Perdidas locales en el lateral (%)

4.6.2.4 Ecuación del Gotero.

La ecuación del gotero es de gran importancia para conocer las descargas de agua deseada y se expresa de la siguiente manera (López et al., 1992):

$$Q(l/h) = Kh^x$$

Q = Caudal del emisor (l/h)

K = Coeficiente de descarga que caracteriza a cada gotero (lo proporciona el fabricante)

h = Presión de operación a la entrada del emisor (m)

x = Exponente de descarga del gotero, depende del flujo de cada emisor (expresa la sensibilidad de los goteros a las variaciones de presión)

4.6.2.5 Coeficiente de variación.

Es un parámetro basado en el proceso de fabricación de los goteros, ya que cada uno varía dependiendo de la variación de caudales debido a las desviaciones al momento de su fabricación y son de utilidad para comprobar la homogeneidad en la distribución del agua en las parcelas (Pizarro, 1996). Resulta ser un parámetro muy útil con significado físico ya que los caudales de goteros a una determinada presión se distribuyen de forma normal, ver Tabla 3.

Tabla 2. Clasificación del coeficiente de variación de emisores de riego

Valor	Clasificación
$CV \leq 0.05$	Excelente
$0.05 < CV \leq 0.07$	Normal
$0.07 < CV \leq 0.10$	Aceptable
$0.10 < CV \leq 0.15$	Deficiente
$0.15 < CV$	Inaceptable

Fuente: Monge. A. M (2018)

4.6.2.6 Diseño de la Tubería Secundaria.

Las pérdidas de carga producidas en un lateral deben ser menores del 55 % de las producidas en la subunidad, debido a que se toma un diámetro comercial que, por lo general, tiene una pérdida de carga inferior a la admitida (Intriago & Sacón, 2012).

$$h'a = \frac{0,1}{x} H - h$$

Donde:

h'a= Pérdidas de carga admisible en la secundaria

H= Presión de trabajo

x= Exponente de descarga del emisor

h= Pérdida de carga real en un lateral

4.6.2.7 Dimensionamiento del Resto de Tuberías.

La función de las tuberías, tanto primarias como secundarias, es de transportar el agua hacia la parcela para satisfacer las demandas de riego de un cultivo. La pérdida de carga para tubos plásticos en general se puede calcular con la fórmula de Hazen Williams (Monge, 2018):

$$J = 10,67xC^{-1,85}D^{-4,87}Q^{1,85}$$

Donde:

J= Es la pérdida de presión continua del tubo (m/m)

C= Coeficiente que depende del material de conducción y el diámetro de la misma (para PVC y PE y hasta de 3135 mm de diámetro toman el valor de C=150)

D= Diámetro de la tubería (m)

Q= Caudal de entrada (m³/s)

4.6.2.8 Criterios para el Trazado de Tuberías.

El diseño geométrico busca la mejor disposición de las tuberías y componentes del sistema sin afectar esta uniformidad que caracteriza al sistema; para reducir los efectos de la diferencia de presión a lo largo del lateral se recomienda que estos se dispongan siguiendo las curvas a nivel y las tuberías múltiples, en el sentido de la pendiente del terreno, por tal motivo se plantea los siguientes criterios para el de trazado de colocación de tuberías (INTAGRI, 2015).

- La red de distribución se diseña cerca al curso del agua, caminos y contorno del terreno.
- Es necesario procurar la continuidad en el riego.
- Los laterales deben ser fijados siguiendo la misma cota del terreno.
- Se hace divisiones en paralelogramos, dependiendo del tipo de riego que se escoja (cuadrada, rectangular o triangular).
- Se utilizan reguladores de presión y goteros autocompensantes en pendientes mayores.
- Ubicar las tomas de riego en base a las necesidades de la superficie a regar

4.6.3 Reservoirio de Riego

Un tanque de almacenamiento de agua es una verdadera necesidad, sobre todo en una región donde las precipitaciones son escasas, que está empezando a sentir con más frecuencia los problemas de escasez y contaminación del agua, además de problemas relacionados a su distribución. Aun cuando los recursos hídricos de Centroamérica son abundantes, los sistemas de distribución son cada vez más problemáticos e insuficientes (Rotoplas, 2022).

4.6.3.1 Tipos de reservorio.

Los reservorios de almacenamiento pueden ser elevados, apoyados y enterrados. Los elevados, que pueden tomar la forma esférica, cilíndrica, y de paralelepípedo, son construidos sobre torres, columnas, pilotes, etc; los apoyados, que principalmente tienen forma rectangular y circular, son construidos directamente sobre la superficie del suelo; y los enterrados, de forma rectangular y circular, son construidos por debajo de la superficie del suelo (Agüero, 2004).

5. Metodología

En este capítulo se realiza una descripción del área de estudio, su localización, procedimientos y técnicas que se emplearon para la realización del trabajo de investigación.

5.1 Descripción y Ubicación del Área de Estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en el predio denominado “María Auxiliadora”, el mismo que está ubicado en el sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, al norte de la provincia de Loja (Figura 3).

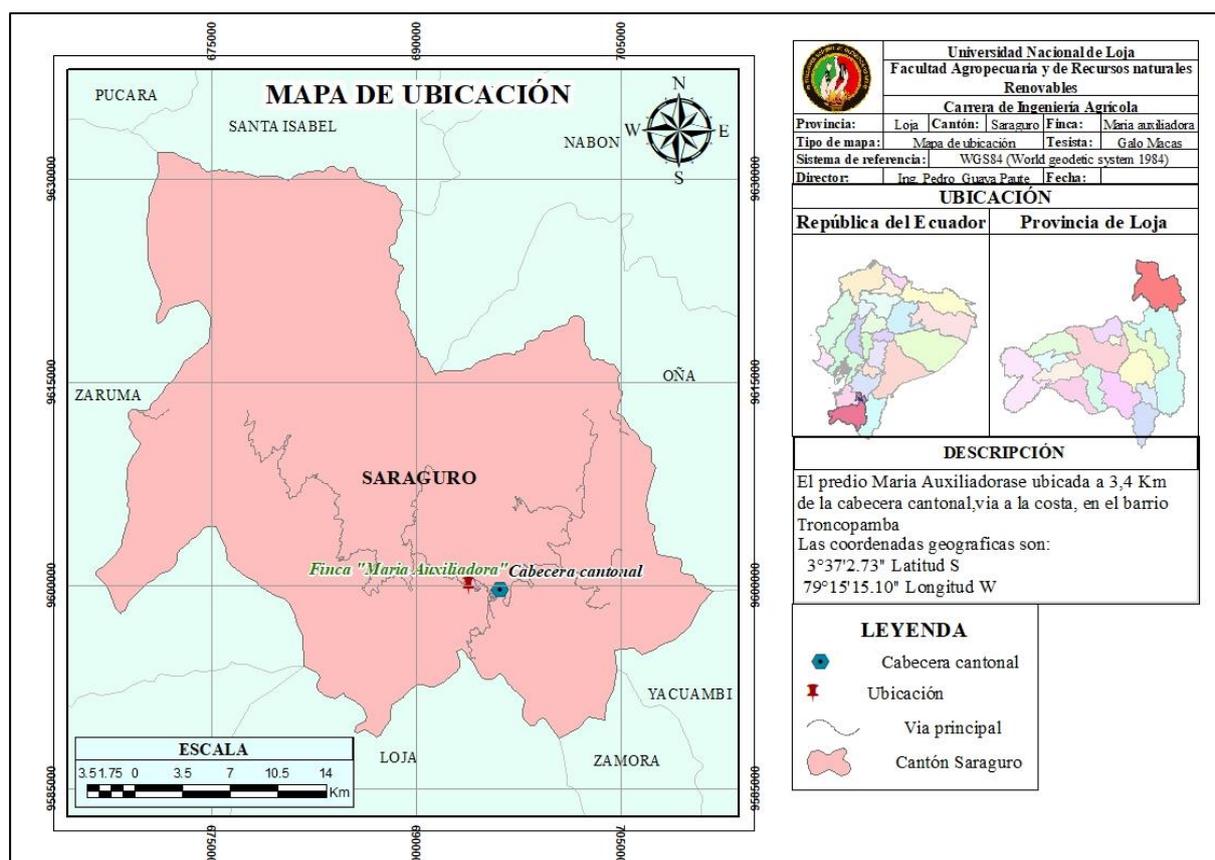
Geográficamente se encuentra situado en las siguientes coordenadas UTM WGS84:

Norte: 9599974.00 m

Este: 693907.00 m

Altitud: 2 773 m s.n.m.

Figura 3. Mapa base de ubicación de la finca "María Auxiliadora", cantón Saraguro.



Elaborado por: El autor, 2023

El clima del cantón Saraguro es templado-subhúmedo; es el tipo de clima que, a pesar de la incidencia del calentamiento global de las últimas décadas, sigue siendo el mismo clima; en cuanto a su precipitación varía de 400 a 800 mm, la época de lluvia va desde noviembre a mayo y la humedad relativa oscila de 80 a 88 % (PDOT, 2015b).

5.2 Materiales y Equipos de Campo

En campo se requirió los siguientes materiales:

- Anillos infiltrómetros.
- Barreno.
- Cámara fotográfica.
- Cilindros koppecky.
- Cinta métrica.
- Combo.
- Flexómetro.
- GPS diferencial Leica Viva GS15.
- Jarra.
- Libreta de campo.
- Marcadores.
- Pico y pala.
- Recipiente volumétrico de 10 litros,
- Regla.

5.3 Materiales y Equipos de Laboratorio

Dentro del laboratorio se utilizó algunos materiales como:

- Balanza de precisión.
- Estufa.
- Crisoles.
- Equipo de Richards.
- Cilindros Koppecky de 100 cm³.
- Placas de cerámica porosa.
- Anillos de goma.
- Compresor de aire.
- cápsulas de porcelana 150 ml.
- Vasos plásticos de 250 ml.
- Pipetas de 5 ml.
- Vasos de precipitación de 50 ml.
- Piseta.
- Varilla de agitación.
- Probetas Bouyoucos.
- Agitador mecánico.
- Balanza analítica de precisión.
- Hidrómetro (ASTM).
- Termómetro: escala 0- 250 °C.
- Cronómetro.

5.4 Materiales y Equipos de Oficina

Para el trabajo de oficina se utilizó los siguientes materiales:

- Computadora.
- Lápiz.
- Libreta.
- Calculadora.
- Modelo digital del terreno (curvas de nivel).
- Catálogos de materiales y equipos de riego (goteros, tubería).

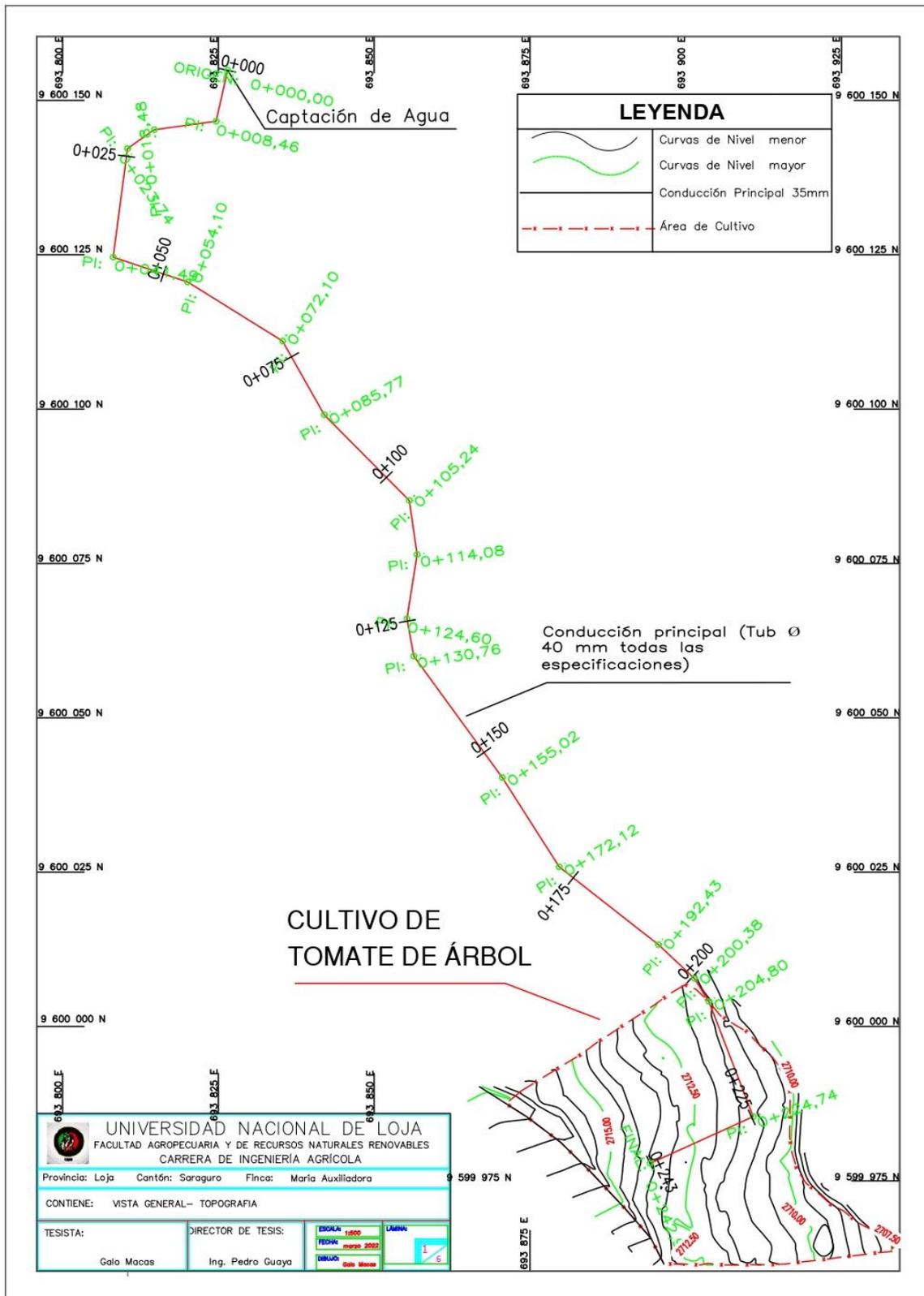
5.5 Datos de Partida

En primera instancia, se realizaron trabajos tanto de campo como de laboratorio, para la obtención de datos de partida (Anexo 13).

5.5.1 Levantamiento Topográfico

Para el levantamiento topográfico se tomaron en cuenta la asignación de coordenadas de la Zona 17S, DATUM WGS 84 en el sistema de proyección Universal Transversal Mercator (UTM). Posteriormente mediante el uso del GPS diferencial, se procedió hacer el levantamiento topográfico con una densidad superior a 400 puntos/ha, en el área de cultivo de tomate de árbol; también se levantó el punto de captación y la línea de conducción que permitirá abastecer al sistema de riego por goteo, ver Figura 4.

Figura 4. Levantamiento topográfico del lugar de estudio.



Elaborado por: El autor, 2023

5.5.2 Aforo del Caudal Disponible

Mediante una visita de campo después de identificar la fuente de abastecimiento de agua, se procedió a la medición del caudal, la misma que se realizó siguiendo la metodología del aforo volumétrico propuesto por Suárez (2018), el cual propone la siguiente formula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q= Caudal (l/s)

V= Volumen (l)

t= Tiempo (seg)

5.5.3 Constantes Hidrofísicas del Suelo

Para conocer la disposición de los horizontes, profundidad, morfología y las propiedades físicas del suelo, se realizó la excavación de una calicata en la parte más representativa del área de cultivo, con dimensiones de 1,20 m de ancho x 1,00 m de profundidad y 1,50 m de largo.

De los dos primeros horizontes, se tomaron muestras no disturbadas por triplicado utilizando cilindros Koppecky de 100 cm³ de volumen, para determinar el contenido de humedad a pF: 0; pF: 2,0 – 2,52; y, pF: 4,2, Agua aprovechable, Capacidad de Aireación, Volumen de poros físicamente inertes, la densidad aparente del suelo y consecutivamente calcular la lámina de riego.

Las muestras fueron analizadas bajo protocolos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja (Anexo 1).

5.5.4 Pruebas de Infiltración.

En el predio, donde se implementará el cultivo de tomate de árbol, se realizó la prueba de infiltración, utilizando el método de infiltración de doble anillo, para lo cual se tomaron lecturas durante 4 horas en intervalos de 5, 10, 15 y 30 minutos, o hasta que el descenso del agua se estabilice. Posterior a la practica en campo, se procesó la información generada mediante el modelo matemático de Kostiakov-Lewis (1934); citado por Rodríguez-Vásquez et al., (2008), ver Anexo 2, mismo que utiliza la siguiente ecuación para encontrar su valor correspondiente:

$$I_{acum} = A * t^B$$

Icum = Infiltración acumulada (cm)

A y B = Parámetros de la ecuación, adimensional

t = Tiempo (min)

5.6 Determinar los requerimientos de riego del tomate de árbol en la zona en función a la relación suelo-agua-planta

Para el desarrollo de este primer objetivo, se recolecto datos meteorológicos, como temperatura máxima y mínima, precipitación mensual, humedad relativa y velocidad del viento, que fue tomada de los anuarios del INAMHI (Anexo 4), correspondientes a la estación Saraguro, en un periodo de 25 años (1990-2015); la misma que está ubicada a una altitud de elevación de 2525 m s.n.m.; se seleccionó esta estación ya que es la más cercana al lugar de estudio.

5.6.1 Evapotranspiración de Referencia, *ET_o*

Se calculó la *ET_o*, utilizando la fórmula de Hargreaves simplificada de la FAO debido a falta de datos meteorológicos en el sector, ver Anexo 5, los utilizados son: temperatura máxima, mínima, media (°C) y radiación solar (MJ/m²/día).

La altitud donde se ubica la estación meteorológica “Saraguro” es 175 m más baja que el área de estudio, esta diferencia de altura influye en los valores de los meteorológicos utilizados, por lo tanto, para asemejarse a la realidad, fue necesario aplicar la metodología de George Hargreaves propuesta para condiciones de California, en donde utiliza un coeficiente de corrección por elevación (FAO, 2011):

$$ET_o = 0,0135 \times (t_{med} + 17,78) \times R_s * CE$$

ET_o = Evapotranspiración potencial diaria (mm/día)

t_{med} = temperatura media (°C)

R_s = radiación solar incidente, convertida en mm/día

CE = Factor de corrección por elevación

Factor de corrección para la altura o elevación del lugar

$$CE = 1 + 0,04 \times E2000$$

CE = Factor de corrección por elevación

E = Elevación a corregir

5.6.2 Coeficiente de Cultivo, *Kc*

El *Kc* se determina en función de: tipo de cultivo, edad y la humedad del suelo. Estos valores se encontraron utilizando la metodología propuesta por la FAO, donde utiliza graficas de acuerdo al valor de *ETo* y la lámina de agua infiltrada.

En la gráfica del *Kc* (X, Y), el eje X adopta los valores de la duración en días de cada etapa fenológica, siendo la fecha de siembra el día uno; y el eje Y los valores adimensionales del *Kc* figura 5.

5.6.3 Evapotranspiración de Cultivo, *ETc*

La *ETc* se calcula a partir de los datos de la evapotranspiración de referencia y el coeficiente de cultivo, aplicando la siguiente formula:

$$ETc = ETo \times Kc$$

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

Kc = Coeficiente del cultivo

ETo = Evapotranspiración de referencia (mm/mes)

5.6.4 Precipitación Efectiva, *Pe*

La precipitación efectiva representa la precipitación útil para satisfacer la demanda del cultivo, para determinarla se utilizó el Método U.S. National Weather Service, en donde se estima la precipitación en el centro de gravedad, en este caso, el mismo se colocó en el centro del área de estudio o del cultivo y se determinó a partir de los datos de la precipitación media, tal como se muestra en el Anexo 6.

Una vez elegidas las estaciones meteorológicas de interés se procedió a obtener su valor, para el mismo se aplica la siguiente ecuación:

$$P = \frac{p_1 \left(\frac{1}{d_1}\right)^2 + p_2 \left(\frac{1}{d_2}\right)^2 + \dots + p_n \left(\frac{1}{d_n}\right)^2}{\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} + \dots + \frac{1}{d_n^2}}$$

P= Precipitación media ponderada

P1.....Pn= Precipitaciones medias consideradas de las estaciones (mm/día)

d1.....dn= Distancias de cada estación hacia el punto central del sitio (m)

- **Cuantificación de la precipitación efectiva**

Se multiplica el promedio de las precipitaciones de cada mes por 0,75 factor de corrección propuesto por Servín et al. (2017). Finalmente se emplea la ecuación de la USDA para $P_{tot} < 250 \text{ mm}$.

$$P_{ef} = P_p \frac{(125 - 0.2 P_p)}{125}$$

P_{ef}= Precipitación efectiva (mm/día)

P_p= Precipitación probable (mm/día)

5.6.5 Cálculo de Requerimiento de Riego, RR

El requerimiento de riego se determina en función de la evapotranspiración de cultivo ET_c y la precipitación efectiva, a través de la siguiente ecuación, ver Anexo 7:

$$RR = ET_c - P_e$$

ET_c= Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

P_e= Precipitación efectiva (mm/día)

5.7 Diseñar un sistema de riego por goteo en el predio “María Auxiliadora” del sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja.

A continuación, se muestra el proceso que se llevó a cabo para realizar el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego por goteo para el cultivo de tomate de árbol, en un área de cultivo de 0,15 ha.

5.7.1 Diseño Agronómico

El diseño agronómico consiste en calcular los parámetros de riego, para que el sistema de riego sea capaz de suministrar agua al cultivo en el periodo de máximas necesidades, es decir, se calcula la cantidad de agua que necesita el cultivo para su desarrollo normal sin que pueda sufrir un déficit hídrico, dichos cálculos se muestran en el Anexo 8.

En esta fase del diseño se calcularon los siguientes parámetros:

5.7.1.1 Necesidades Netas.

Estas equivalen a la cantidad de agua requerida para compensar la evapotranspiración. La fórmula empleada para el cálculo de las necesidades netas, desarrollada por FAO, es la siguiente:

$$N_n = ET_c \times KL \times K_r \times K_a$$

N_n = Necesidades netas del cultivo (mm/día)

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

KL = Coeficiente corrector por localización

K_r = Coeficiente corrector por variación climática

K_a = Coeficiente corrector por advección, o tasa de energía que se transfiere horizontalmente

- **Coeficiente corrector por localización (KL)**

Primero se calcula la fracción del área sombreada = A

En plantaciones de frutales el porcentaje de superficie o área sombreada se estima en función o a partir de la relación entre el área sombreada por el árbol y el marco de plantación

$$A = \frac{\frac{\pi * D^2}{4}}{\text{marco de plantación}}$$

A = Área sombreada (m^2)

D = Diámetro medio de la copa del árbol (m)

Después de calcular la fracción de área sombreada por el cultivo, se substituye en las siguientes 4 ecuaciones ,luego se descarta el valor más alto y el más bajo, hacemos una media con los dos valores restantes.

Aljibury et al. $KL = 1,34 * A$

Dexroix $KL = 0,1 + A$

Hoare et al. $Kl = A + 0,5 * (1 - A)$

Keller $KL = A + 0,15 * (1 - A)$

El termino 0,1 tiene en cuenta el efecto de la micro advección, que es importante cuando A es pequeño.

- **Coeficiente corrector por variación climática (K_r)**

Adopta valores de 1,15 para aquellas zonas en las que la $ET_o \leq 6,5$ mm/día y el valor de 1,20 para zonas en las que la $ET_o > 6,5$ mm/día.

En este caso la ET_o en el mes de máxima demanda es de 3,2 mm/día

- **Coeficiente corrector por advección (K_a)**

Hay estudios que indican que K_a tiene una influencia poco considerable que se circunscribe sólo a los límites de la parcela a regar. Si no se desea prescindir de él en el cálculo, puede tomarse el valor de:

$K_a = 0,95$ en parcelas de riego iguales o superiores a 50 ha

$K_a = 0,98$ en parcelas de riego inferiores a 50 ha y mayores de 10 ha

$K_a = 1$ en parcelas inferiores o iguales a 10 ha

5.7.1.2 Necesidades Totales de Riego.

Estas serán mayores a las necesidades netas, pues se debe aportar cantidades adicionales para compensar pérdidas causadas por infiltración profunda, salinidad (si existiese riesgo) y por la uniformidad de riego, se calcula con la siguiente formula:

$$N_t = \frac{N_n}{E_a \times (1 - NL) \times 0.90}$$

N_t = Necesidades totales (mm/día)

N_n = Necesidades netas (mm/día)

E_a = Eficiencia de aplicación (%)

NL = Necesidades de lavado

Consideraciones de E_a según Monge (2018), en función de la textura del suelo, ver

Tabla 3. Valores de eficiencia de aplicación de acuerdo a la textura del suelo

Valores de eficiencia de aplicación (%)		
<i>Arena</i>	<i>Limo</i>	<i>Arcilla</i>
0,85	0,9	0,95

Fuente: Monge (2018)

5.7.1.3 Necesidades Totales Unitarias para Cultivos Arbóreos.

Debido a la mayor masa vegetal y por consiguiente a una mayor extensión de su sistema radicular, los cultivos leñosos necesitarán marcos de plantación más extensos que los cultivos hortícolas o herbáceos, influyendo en la distribución final de los goteros durante el diseño del riego. Estas se calculan con la siguiente ecuación tomada de (UIDR, 2016):

$$N_{tu} = N_t \times A \times C$$

N_{tu}= Necesidades totales unitarias (l/árbol/día)

N_t= Necesidades totales (l/m²/día)

A= Marco de plantación (m²)

C= Coeficiente de 0,90 con distancias entre plantas iguales o inferiores a 4 m

5.7.1.4 Número Final de Goteros por Metro Cuadrado.

El número final de los goteros se calcula con la siguiente formula:

$$e_h = \frac{P \times S}{sme}$$

e_h= Número mínimo de emisores por árbol

S= Marco de plantación (m²)

P= Porcentaje de superficie humedecida, transformado en decimal

Sme = Superficie mojada por el emisor (m²)

$$sme = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Siendo D el diámetro mojado por un gotero

- **Superficie mojada por un emisor**

El diámetro de la superficie mojada se puede calcular mediante las fórmulas planteadas por Keller en 1985, que vienen definidas según la textura del suelo, cultivo seleccionado, caudal del gotero y tiempo de riego.

Para textura arenosa: $D = (0,3 + 0,12 * q)$

Para textura franca: $D = (0,7 + 0,11 * q)$

Para textura arcillosa: $D = (1,2 + 0,10 * q)$

D= Diámetro de la superficie mojada (m)

q = Caudal del emisor (l/h)

- **Formación bulbo húmedo**

El bulbo húmedo es el volumen de suelo humedecido por un emisor de riego localizado.

- **Porcentaje de superficie de terreno humedecida**

Relación porcentual entre la superficie total mojada por los emisores de riego y la superficie del terreno donde crece el cultivo. Para cultivos con marco medio, los valores habituales van entre 35 % - 55 %.

En este caso se usará el valor medio, 45 %

5.7.1.5 Solape de Bulbos Húmedos.

Los bulbos deben solaparse por lo que la distancia entre goteros debe ser menor al diámetro que moja el gotero.

El solape de los bulbos debe ir entre un 15 % como mínimo y no más de un 50 %. Superficie que se solapa se calcula con la siguiente formula:

$$a = \frac{S \times r}{100}$$

a= Área de solape (m²)

r = Radio (m)

S= Porcentaje de solape (%)

5.7.1.6 Distancia entre Emisores.

La distancia entre emisores lo podemos deducir de la siguiente formula:

$$D_e = r \left(2 - \frac{S}{100} \right)$$

D_e = Distancia entre goteros (cm)

r = Radio húmedo del gotero (cm)

S= Solape en porcentaje (%)

5.7.1.7 Número Final de Goteros por Árbol.

Se calcula con la siguiente formula:

$$e_h = \frac{P \times S}{sme}$$

e_h= Número mínimo de emisores por árbol

S= Marco de plantación (m²)

P= Porcentaje de superficie humedecida, transformado en decimal

Sme= Superficie mojada por el emisor (m²), se lo determina con la ecuación siguiente:

$$sme = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Siendo D el diámetro mojado por un gotero

5.7.1.8 Intervalos de Riego.

En suelos de textura arenosa, es donde se originan bulbos estrechos y profundos, se riega en intervalos muy cortos. Uno o dos riegos diarios. Monge (2018) propone la siguiente distribución en función de la textura de suelo, ver Tabla 5.

Tabla 4. Intervalos de riego según el tipo de textura

TIPO DE TERRENO	INTERVALO ENTRE RIEGOS
Arcilloso	1 riego cada 2 o 3 días
Limoso	1 riego cada día
Arenoso	1 o 2 riegos diarios

Fuente: Monge (2018)

5.7.1.9 Duración de Riego.

El tiempo de riego permite definir el lapso de tiempo que se debe regar en cada subunidad, se determina con la formula presentada a continuación:

$$t_r = \frac{Nt \times I}{e_{hf} \times q}$$

t_r = Tiempo de riego (min)

Nt= Necesidades totales unitarias (l/día)

I= Intervalo entre riego (días)

e_{hf} = Número final de goteros asignados a cada árbol (emisores/m)

q= Caudal del emisor seleccionado (l/h)

5.7.1.10 Caudal Total.

Se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_t = \frac{\left(\frac{S}{A}\right) \times q \times n}{3600}$$

Q_t = Caudal total (l/s)

S = Superficie a regar (m²)

A = Marco de plantación (m²)

n = Número de goteros por árbol

q = Caudal del emisor (l/h)

5.7.2 *Diseño Hidráulico*

El diseño hidráulico tiene como finalidad de hallar las pérdidas de carga longitudinales, perdidas de carga por accesorios y en salidas múltiples, con el objetivo de determinar los diámetros de las tuberías que conforman el riego por goteo, como laterales, tuberías principales y tubería secundarias.

Antes de realizar el diseño hidráulico de la instalación de riego por goteo, se debe tener en cuenta las siguientes condiciones propuestas para la metodología de Monge (2018):

- a) La velocidad de circulación del agua en tuberías principales y secundarias será como máximo de 2,5 a 3,0 m/s. En laterales de riego, se limita la máxima velocidad de 1,5 a 2,0 m/s, debido a las elevadas pérdidas de carga que se producen en tuberías con menor diámetro.
- b) La mínima velocidad de circulación del agua conviene que sea igual o superior a 0,5 m/s, para evitar sedimentaciones en el interior de las conducciones.
- c) La pérdida de presión en las tuberías generales de distribución hacia parcela será inferior a 5%, es decir, por 100 metros de conducción se deberá perder por norma general un máximo de 5 metros de columna de agua.
- d) Se admite una diferencia máxima de caudal del 10% en la unidad de riego. En el caso de goteros compensantes esta diferencia es absorbida por el sistema de compensación de presión de los goteros.

5.7.2.1 Estudio de la Sub unidad de Riego.

- ***Tolerancia de Presiones en la subunidad de riego***

Es controlada por la ecuación presentada a continuación:

$$\Delta H_u \pm Z_l \pm Z_t \leq dp$$

ΔH_u = Pérdida de carga en la unidad debida a la fricción del agua con tuberías y accesorios (m)

Z_l = Desnivel de la tubería lateral (m)

Z_t = Desnivel de la tubería secundaria (m)

- ***Pérdida de carga en la subunidad de riego***

Es la suma de las pérdidas de carga del lateral y de la tubería secundaria, tal como se muestra en la siguiente formula:

$$\Delta H_u = h_l + h_t$$

h_l = Pérdida de carga producida en el lateral (m)

h_t = Pérdida de carga producida en la tubería secundaria (m)

- ***Distribución de las pérdidas de presión en la unidad de riego***

Montalvo (2005), propusieron una expresión para determinar el reparto óptimo de presiones R, en función de la separación de los laterales s, y del coeficiente de forma de la unidad CF, definido éste último como la relación entre las longitudes del lateral L_l , y la longitud de la tubería secundaria L_t .

$$CF = \frac{L_l}{L_t}$$

El reparto óptimo R, para laterales alimentados por un punto extremo, se calcula con la siguiente formula:

$$R = \frac{0,776 CF^{0.1577}}{S^{0.060}}$$

CF= Coeficiente de forma

S= Separación de los laterales (m)

R x 100 representa las pérdidas máximas admisibles, en la unidad de riego estarían asignados a los laterales.

5.7.2.2 Dimensionamiento en los Laterales.

- ***Pérdidas Continuas***

Se calcula en función del diámetro interno previamente escogido para los laterales, con la siguiente formula de Cruciani – Margaritora:

$$J = 0,473 \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}}$$

Q= Caudal del gotero (l/h)

D= Diámetro interno del lateral (mm)

- ***Coficiente de reducción de Christiansen***

Este se calcula en función del número de salidas:

$$CR = \frac{1}{e + 1} + \frac{1}{2 \times n} + \frac{\sqrt{e - 1}}{6 \times n^2}$$

e= Coeficiente según material;

n= Número de salidas en el lateral.

- ***Longitud Equivalente***

La longitud equivalente debida a la inserción de los goteros se calcula como:

$$L_e = 0,23 \frac{m}{\text{got}} * N_s$$

L_e= Longitud equivalente (m/gotero)

N_s= Numero de salidas

- ***Longitud Ficticia***

La longitud ficticia resulta:

$$L_f = L + L_e$$

L_f=Longitud ficticia (m)

L= Longitud real (m)

L_e= Longitud equivalente (m)

- ***Pérdidas totales en el lateral***

Se calculan con la ecuación:

$$h_l = J \times CR \times L_f$$

J= Pérdidas continuas (mca)

CR= Factor de reducción de Christiansen;

L_f= Longitud ficticia (m)

- ***Presión en el origen del lateral***

$$P_o = P_n + 0,73h_l$$

P_o= Presión en el origen del lateral

P_n= Presión nominal del emisor

h_l= Pérdidas del lateral

Presión al final del lateral

$$P_u = P_n - 0,27h_l$$

P_u= Presión al final del lateral

P_n= Presión nominal del emisor

h_l= Pérdidas del lateral

- ***Caudal del lateral***

Para el cálculo del caudal del lateral, Ortiz Calle et al. (2021) propone la siguiente formula, la cual se considera como valor unitario para un emisor, tomando en cuenta que este cultivo consta de cuatro emisores distribuidos dentro del sistema de riego, el valor unitario de este emisor se multiplica por cuatro veces, quedando de la siguiente manera:

$$Q_l = 1.2 * \left[\frac{L_l}{S_e} + 1 \right] * Q_e * n$$

Q_e= Caudal del emisor (l/h)

L_l= Longitud del lateral (m)

S_e= Separación entre emisores (m)

n= número de emisores por planta

- ***Cálculo de la Velocidad***

Resulta de aplicar la fórmula:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Q= Caudal en el lateral (m³/h)

A= Área del lateral (m²)

5.7.2.3 Dimensionamiento de la Tubería Secundaria.

Antes del dimensionamiento de las tuberías secundarias se inicia con el cálculo de algunos de parámetros, expuestos a continuación:

- ***Caudal en el origen de la secundaria***

Es igual al número de laterales conectados a la tubería secundaria por el caudal de un lateral o en el caso de unidades irregulares la suma de caudales de todos los laterales.

$$Q_t = Q_{\text{árbol}} \times N_p$$

Q_t= Caudal necesario para cada árbol (l/h)

N_p= Número de árboles por lateral

- ***Longitud Ficticia***

Se estima el valor de longitud ficticia **L_f** como:

$$L_f = L \times 1,1$$

L_f= Longitud ficticia (m)

L= Longitud real (m)

- ***Longitud Real***

Está regida por la siguiente ecuación:

$$L = S_0 + S (n - 1)$$

S₀= Distancia a la que está el primer lateral

S= Distancia entre laterales

n= Número de laterales

- **Factor de Christiansen:**

En primer lugar, se calcula el coeficiente de reducción de Christiansen:

$$CR = \frac{1}{e + 1} + \frac{1}{2 \times n} + \frac{\sqrt{e - 1}}{6 \times n^2}$$

e= Coeficiente según material, PVC (1.80)

n= Número de salidas (laterales)

Debido a que el primer lateral está a una distancia diferente, es necesario hacer una corrección en CR.

$$Fr = \frac{r + n \times CR - 1}{r + n - 1}$$

r= Distancia del primer lateral

n= Número de laterales

CR= Valor del factor de Christiansen

- **Cálculo del Diámetro**

El diámetro de la tubería secundaria se despejará de la fórmula de Hazen:

$$D = \left(\frac{10,67 \times C^{-1.85} \times Q^{1.85} \times Fr \times L_f}{h_t} \right)^{\frac{1}{4.87}}$$

C= Coeficiente según el material, para PVC, C=150

Q= Caudal en el origen (m³/h)

Fr= Corrección de Christiansen

L_f= Longitud ficticia (m)

h_t= Pérdidas máximas en la secundaria (mca)

- **Corrección con diámetro comercial**

Una vez obtenido el diámetro interno (mínimo), se compara con los catálogos disponibles en el mercado, en el caso de no coincidir con alguno, se aplica el diámetro más cercano, hacia arriba o de mayor diámetro.

- ***Pérdidas Continuas***

Están dadas por la siguiente fórmula propuesta por Hazen -Williams:

$$J = 10,67 \times C^{-1.85} \times Q^{1.85} \times D^{-4.87}$$

C= Coeficiente según el material, PVC 150

Q= Caudal en el origen (m³/h)

D = Diámetro corregido (m)

- ***Pérdidas Totales***

Las pérdidas totales se calculan con la ecuación:

$$h_t = J \times Fr \times L_f$$

J= Pérdidas continuas (mca)

Fr= Corrección del factor de Christiansen

L_f= Longitud ficticia (m)

- ***Presión en el origen de la secundaria***

$$P_o = P_l + h_l \pm \Delta Z$$

P_l= Presión en el inicio del lateral

h_l= Pérdidas en el lateral (mca)

±ΔZ= Desnivel de la secundaria (signo según sea ascendente o descendente).

- ***Cálculo de la Velocidad***

Resulta de aplicar la formula a continuación:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Q= Caudal en el lateral (m³/h)

A= Área del lateral (m²)

5.7.2.4 Dimensionamiento de la Tubería Principal.

Las Tuberías secundarias y Principales se dimensionan con la misma metodología, diferenciándose de las tuberías secundarias y laterales en que ellas no presentan salidas múltiples.

En primera instancia se determinó el diámetro, asumiendo la velocidad de 1.5 m/s.

- ***Cálculo del Diámetro***

El diámetro de la tubería principal se calcula con la siguiente formula.

$$D = 0,5947 \sqrt{\frac{Q}{V}}$$

D= Diámetro interno (mm)

Q= Caudal en el origen (l/h)

V= Velocidad (m/s)

- ***Corrección con diámetro comercial***

Una vez obtenido el diámetro interno (mínimo), se compara con los catálogos disponibles en el mercado, en el caso de no coincidir con alguno, se aplica el diámetro más cercano, hacia arriba o de mayor diámetro.

- ***Pérdidas Continuas***

Están dadas por la siguiente fórmula propuesta por Hazen – Willians

$$J = 10,67 \times C^{-1.85} \times Q^{1.85} \times D^{-4.87}$$

C= Coeficiente según el material, PVC 150

Q= Caudal en el origen (m³/h)

D= Diámetro corregido (m)

- ***Pérdidas Totales***

Las pérdidas totales se calculan con la ecuación a continuación

$$h_t = J \times L \times a$$

J= Pérdidas continuas (mca)

L= Longitud ficticia (m)

a = Porcentaje de pérdidas que se dan por accesorios y conexiones (10 -15%)

5.7.2.5 Cálculo de la Bomba.

El sistema de riego no cuenta con la presión necesaria para que el sistema de riego funcione independientemente, por lo tanto, se debe incluir un sistema de bombeo que abastezca la energía faltante. Durán (2016) recomienda usar la siguiente metodología para determinar la bomba a utilizar:

En primer lugar, se calculó la presión necesaria para que el sistema de riego funcione correctamente, misma que debe ser igual o menor a la presión ejercida por la motobomba seleccionada, esta se halla utilizando la siguiente fórmula:

$$P_{bomba} = h_g + h_f + p_l$$

P_{bomba}= Presión de la bomba

h_g= Altura geométrica (m)

h_f= Perdidas de carga (m)

p_l= Punta de lanza

Posteriormente determinar la potencia de la bomba con la fórmula:

$$P = \frac{Q \times H}{n \times 450}$$

n= Rendimiento total

Q= Caudal (l/s)

H= Presión (bares)

450= Factor de conversión para obtener la potencia en HP

5.7.3 Capacidad y Dimensionamiento del Reservorio

Para el cálculo de la capacidad del reservorio, se considera la compensación de variaciones horarias de consumo y los eventuales desperfectos en la línea de conducción. El reservorio debe permitir que la demanda máxima que se produce en el consumo sea satisfecha a cabalidad, al igual que cualquier variación en el consumo registrado durante el día.

Para dar cumplimiento al mismo se consideró el caudal que necesita el sistema para un normal funcionamiento, valor que se lo determinara dentro del diseño agronómico.

6. Resultados

6.1 Datos de Partida

Una vez concluido los trabajos de campo y laboratorio, se tiene los siguientes resultados.

El levantamiento topográfico se tomó 228 puntos en un área de 0,15 ha, la cual se encuentra a 2700 m s.n.m., donde se evidenció que el área de cultivo presenta un relieve poco accidentado (Anexo 11), con una diferencia de altura de 8 m. La conducción principal tiene una longitud de 240 m, diferencia de altura entre el punto de captación y la parcela de 8 m. Después de realizar el aforo volumétrico se determinó que la propiedad cuenta con un caudal disponible de 3.06 m³/h.

A continuación, se presentan los resultados de las constantes hidrofísicas del suelo:

- **Propiedades físicas**

Tabla 5. Propiedades físicas del predio a 35 y 50 cm.

<i>Perfil</i>	<i>Profundidad cm</i>	<i>Textura</i>	<i>Da g/cm³</i>
Ao	0- 35	Franco Arenoso	1,15
Ap1	35- 50	Franco Arenoso	1,11

Elaborado por: El autor, 2023

En la Tabla 6 se muestra las características del perfil a una profundidad de 35 y 50 cm, en donde, las dos profundidades presentan textura Franco Arenoso, además, la densidad aparente que va de 1,15 a 1,11 g/cm³.

- **Propiedades hidrofísicas**

Tabla 6. Constantes hidrofísicas del predio.

<i>Perfil</i>	<i>Profundidad cm</i>	<i>Saturación %</i>	<i>Humedad a 0.10 atm %</i>	<i>Humedad a 0.33 atm %</i>	<i>P.M.P a 15 atm %</i>	<i>AA %</i>
Ao	0- 35	45,36	42,41	38,33	16,28	22,05
Ap1	35- 50	47,49	43,09	39,41	24,07	17,03

Elaborado por: El autor, 2023

En cuanto a sus factores hidrofísicos, el suelo del predio “María auxiliadora”, cuenta con un contenido de humedad al punto de saturación promediado de 46,43%, contenido de humedad a 1/3 capacidad de campo de 38,87 % y el punto de marchitez permanente a 15 atm igual a 20,17% de humedad en términos de volumen, tal como se muestran en la Tabla 7.

Para complementar la información del suelo, con respecto a las características hidro pedológicas, tenemos la velocidad de infiltración básica con un valor promedio de 180,17 mm/h.

6.2 Determinar los requerimientos de riego del tomate de árbol en la zona en función a la relación suelo-agua-planta.

Los resultados obtenidos en el primer objetivo se muestran a continuación:

6.2.1 Evapotranspiración de referencia

Tabla 7. Evapotranspiración de referencia.

<i>Meses</i>	<i>Eto</i>
	<i>mm/día</i>
Enero	2,83
Febrero	2,98
Marzo	2,91
Abril	2,84
Mayo	2,82
Junio	2,57
Julio	2,64
Agosto	3,09
Septiembre	3,16
Octubre	2,80
Noviembre	3,20
Diciembre	3,03

Elaborado por: El autor, 2023

Mediante los procedimientos descritos utilizando la ecuación de Hargreaves modificada por la FAO, se estimó la ETo con promedios mensuales de las variables meteorológicas; según el modelo de referencia, se encontró que la ETo mayor durante el año fue en el mes de noviembre con 3,20 mm/día y el mínimo de 2,57 mm/día en el mes de junio, tal como se observa en la Tabla 8.

6.2.2 Coeficiente de Cultivo

Tabla 8. Coeficiente de cultivo para tomate de árbol, de acuerdo a las etapas de desarrollo.

<i>Etapas</i>	<i>Días</i>	<i>Duración por etapa</i>	<i>Kc</i>	<i>Días acumulados</i>
Inicial	0 – 28	28	0,6	28
Desarrollo	28 – 180	152	1,2	180
Intermedia	180 – 390	210	1,2	390
Final	390 - 570	180	0,8	570
Total	Año y medio	570	3,8	

Elaborado por: El autor, 2023

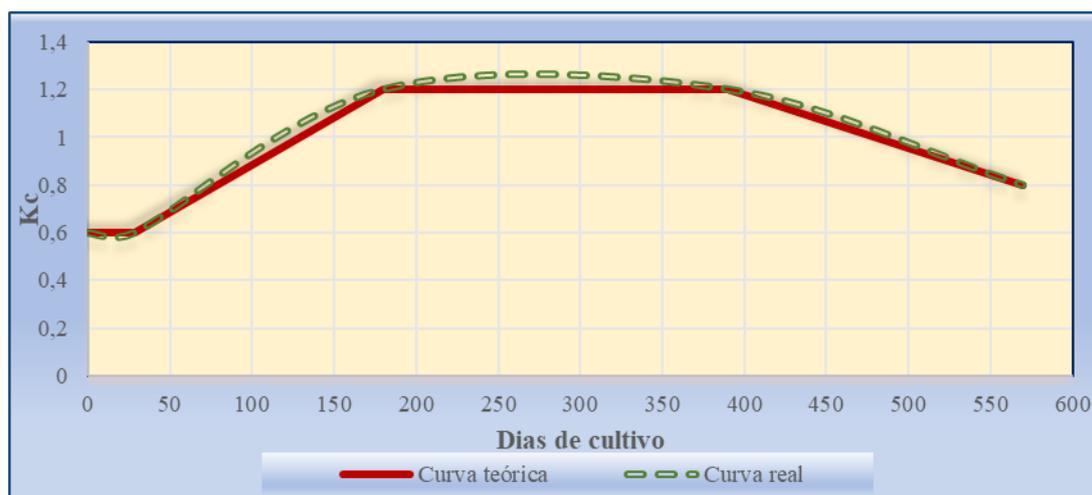
Tabla 9. Kc para cultivo de tomate de árbol

<i>Meses</i>	<i>Kc</i>
Enero	0,97
Febrero	1,03
Marzo	1,15
Abril	1,2
Mayo	1,2
Junio	1,2
Julio	1,2
Agosto	1,2
Septiembre	1,2
Octubre	1,2
Noviembre	1,12
Diciembre	1,15

Elaborado por: El autor, 2023

El Kc máximo para el cultivo de tomate de árbol es de 1,2 en la etapa intermedia y de desarrollo, tal como se muestra en la Tabla 9, el cual se refleja en los meses de abril a octubre (Tabla 10), en donde se prevé la etapa de floración y fructificación de acuerdo al ciclo del cultivo; gráficamente se observa la curva del Kc en la Figura 2.

Figura 5. Curva del coeficiente de Cultivo



Elaborado por: El autor, 2023

6.2.3 Evapotranspiración del Cultivo.

Tabla 10. Evapotranspiración de cultivo.

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>ETc</i> (mm/día)	2,75	3,07	3,35	3,41	3,39	3,09	3,17	3,71	3,79	3,36	3,58	3,48

Elaborado por: El autor, 2023

En la Tabla 11 se puede apreciar los datos de ET_c , con un valor máximo de 3,79 mm/día en el mes de septiembre y un valor mínimo de 2,75 mm/día en el mes de enero, valores que se los tomaran en cuenta al realizar el diseño agronómico del proyecto.

6.2.4 Precipitación Efectiva.

Tabla 11. Precipitación efectiva para Saraguro.

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>Pe</i> (mm/mes)	43,20	45,31	51,97	41,35	34,77	28,77	24,32	21,00	24,56	40,10	35,92	42,17
<i>Días del mes</i>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
<i>Pe</i> (mm/día)	1,39	1,62	1,68	1,38	1,12	0,96	0,78	0,68	0,82	1,29	1,20	1,36

Elaborado por: El autor, 2023

El máximo valor de precipitación efectiva para el cantón Saraguro (Tabla 12) se da en el mes de marzo con 1,68 mm/día y en el mes de agosto presenta el valor mínimo de 0,68 mm/día.

6.2.5 Requerimiento de Riego

Tabla 12. Requerimiento de riego para el cultivo de tomate de árbol.

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>RRC</i> (mm/día)	1,35	1,45	1,67	2,03	2,27	2,13	2,38	3,03	2,97	2,07	2,38	2,12

Elaborado por: El autor, 2023

Figura 6. Relación ETc-Pe.



Elaborado por: El autor, 2023

En la Tabla 13 se muestran los requerimientos de riego para el cultivo de tomate de árbol, en donde se evidencia que las máximas demandas de agua se presentan en los meses de agosto y septiembre con valores de 3,03 y 2,97 mm/día respectivamente, de igual forma el menor requerimiento se evidencia en el mes de enero con 1,35 mm/día, gráficamente se los visualiza en la Figura 5, donde se relaciona la evapotranspiración del cultivo con la precipitación efectiva de la zona de estudio.

6.3 Diseño de un sistema de riego por goteo en el predio “María Auxiliadora” del sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja.

El segundo Objetivo se lo realizó en dos fases: El diseño Agronómico y posteriormente el Diseño Hidráulico:

6.3.1 Diseño Agronómico.

Tabla 13. Parámetros correspondientes al diseño agronómico.

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>
Necesidades Netas	mm/día	2,2
Necesidades Totales de riego	mm/día	2,87
Necesidades Totales Unitarias	l/árbol	10,33
Caudal de los goteros	l/h	4
Distancia entre emisores	m	0,5
Número de emisores por árbol	emisores	4
Intervalos de riego	día	1
Duración de riego	minutos	38
Caudal total	m ³ /h	2,44

Elaborado por: El autor, 2023

En el presente estudio se determinó las necesidades totales unitarias de 10,33 l/árbol, las cuales se van a aplicar durante 38 minutos diariamente como se explica en la Tabla 14. El caudal que se entregará a cada subunidad de riego tiene un valor de 2,44 m³/h, es decir que, en cada periodo de riego, se entregara 1,55 m³ de agua al suelo.

6.3.2 Diseño Hidráulico

6.3.2.1 Diseño Hidráulico en Laterales de Riego.

Tabla 14. Parámetros de riego en laterales (Sub unidad 1).

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>
Pérdidas máximas admisibles	%	80
Pérdidas continuas	mca	0,11
Factor de Christiansen		0,41
Longitud del lateral	m	23
Pérdidas Totales	mca	1,15
Caudal del Lateral	l/h	240
Velocidad	m/s	0,82

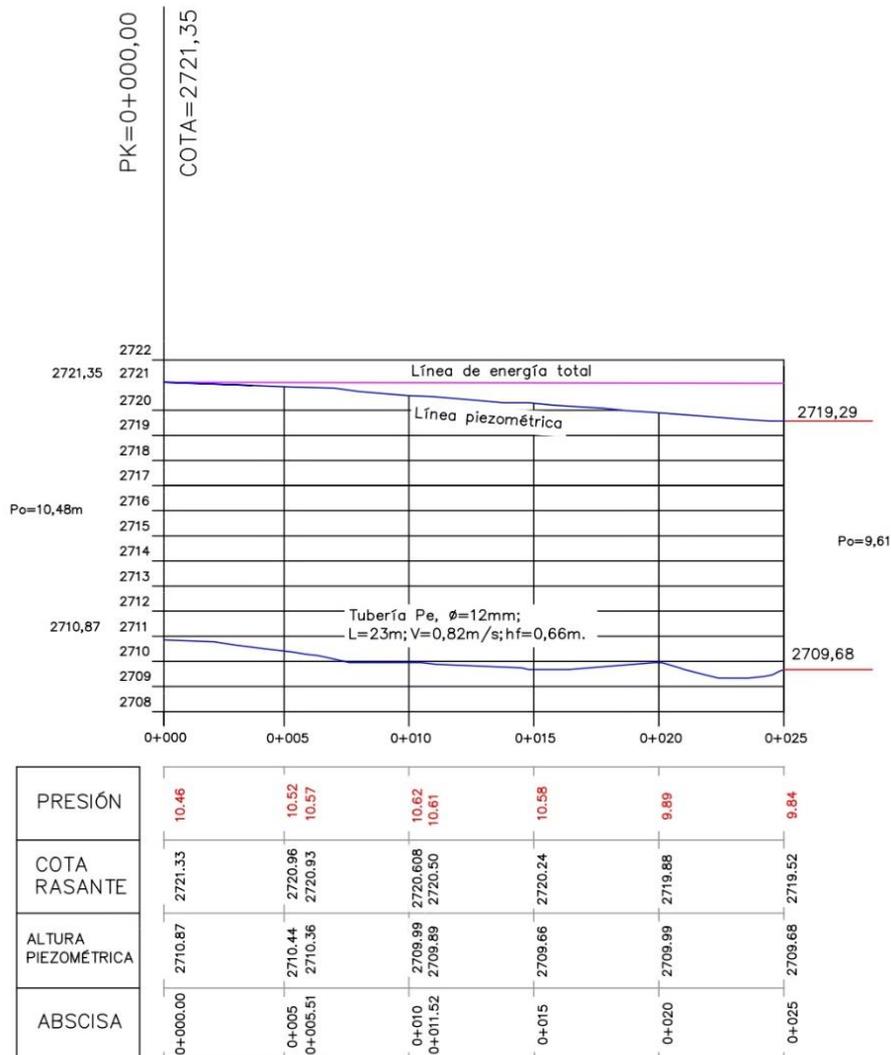
Elaborado por: El autor, 2023

Tabla 15. Parámetros de riego en laterales (Sub unidad 2).

<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>
Pérdidas máximas admisibles		%	80
Pérdidas continuas	<i>J</i>	mca	0,11
Factor de Christiansen	<i>CR</i>		0,41
Longitud del lateral	<i>L</i>	m	23
Pérdidas Totales	<i>hl</i>	mca	1,15
Caudal del Lateral	<i>Ql</i>	l/h	240
Velocidad	<i>V</i>	m/s	0,82

Elaborado por: El autor, 2023

Figura 7. Perfil de conducción del lateral.



Elaborado por: El autor, 2023

Los laterales de riego dispuestos de forma paralela a las curvas de nivel e hileras del cultivo tendrán unas pérdidas totales de 1,15 mca, un caudal de 240 l/h y una velocidad de flujo de agua de 0,82 m/s (Tabla 15); mientras que, en la Figura 7, se observa que la presión nominal de trabajo de los goteros adopta un valor alrededor de 10 mca.

6.3.2.2 Diseño Hidráulico en Tuberías Primarias y Secundarias.

Tabla 16. Parámetros de riego para la tubería secundaria (Sub unidad 1).

<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
Pérdidas máximas admisibles		%	20
Caudal de Origen	Qt	m ³ /h	2,45
Longitud Tubería secundaria	L	m	28,30
Factor de Chris. (Corregido)	CR		0,36
Diámetro Comercial	D	mm	25
Diámetro Interno	Di	mm	21
Presión de trabajo	H	Mpa	1
Pérdidas continuas	J	mca	0,21
Pérdidas Totales	Ht	mca	2,34
Velocidad	V	m/s	1,96

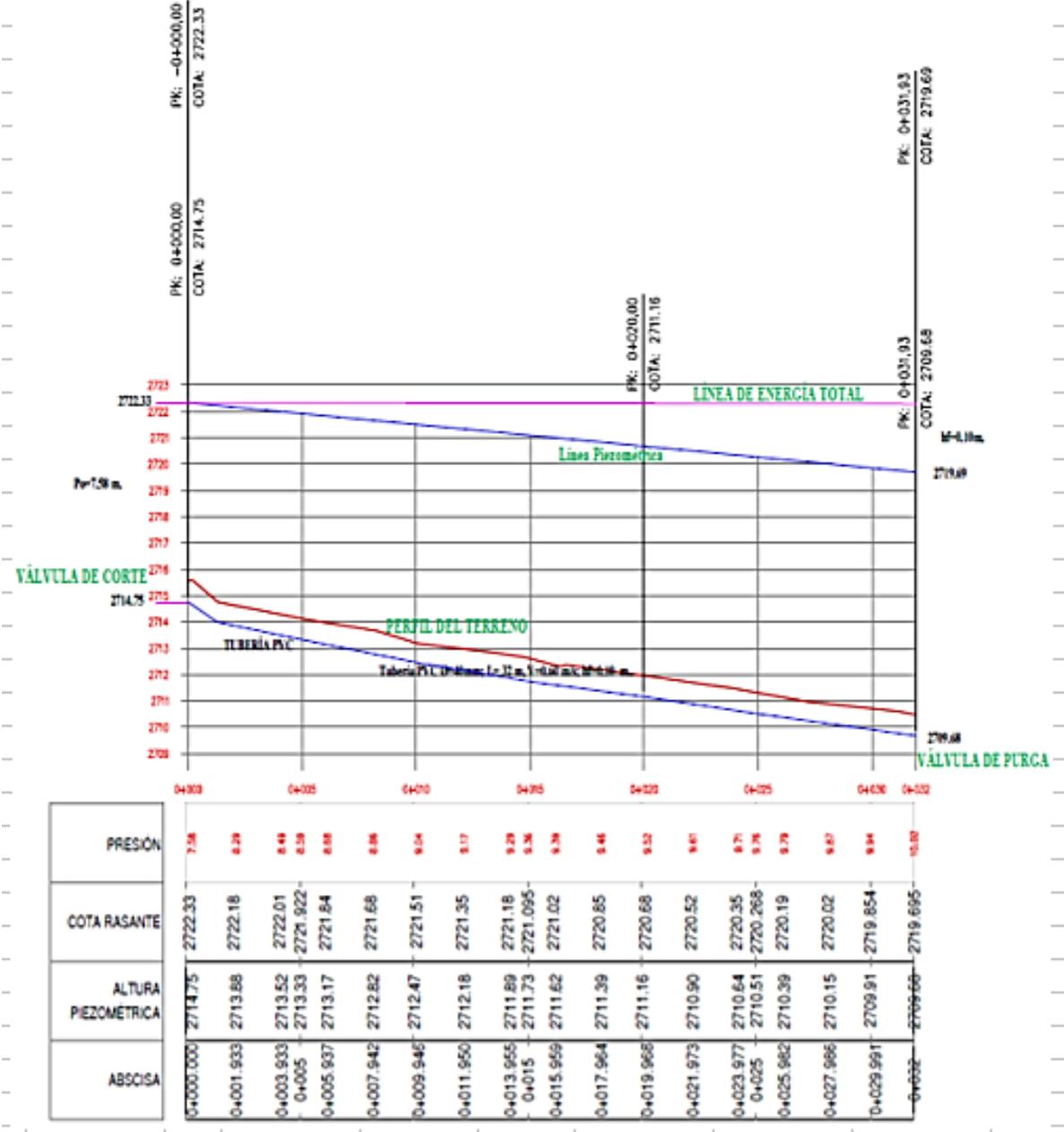
Elaborado por: El autor, 2023.

Tabla 17. Parámetros de riego para la tubería secundaria (Sub unidad 2).

<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
Pérdidas máximas admisibles		%	20
Caudal de Origen	Qt	m ³ /h	2,22
Longitud Tubería secundaria	L	m	24,3
Factor de Chris. (Corregido)	CR		0,36
Diámetro Comercial	D	mm	25
Diámetro Interno	Di	mm	19
Presión de trabajo	H	Mpa	1
Pérdidas continuas	J	mca	0,23
Pérdidas Totales	Ht	mca	2,2
Velocidad	V	m/s	2,01

Elaborado por: El autor, 2023

Figura 8. Perfil de la línea de conducción de la tubería secundaria



Elaborado por: El autor, 2023

En el cálculo de la tubería secundaria (Tabla 17), se determinó un diámetro comercial de 25 mm, en el cual circularán 2,22 m³/h en 38 minutos, con una velocidad de circulación correspondiente a 1,96 m/s, produciendo pérdidas de carga totales de 2,34 mca; en cuanto a la Figura 7, se observa que la presión a la entrada de la tubería secundaria es de 7,84 mca y la presión al final es de 10,02mca.

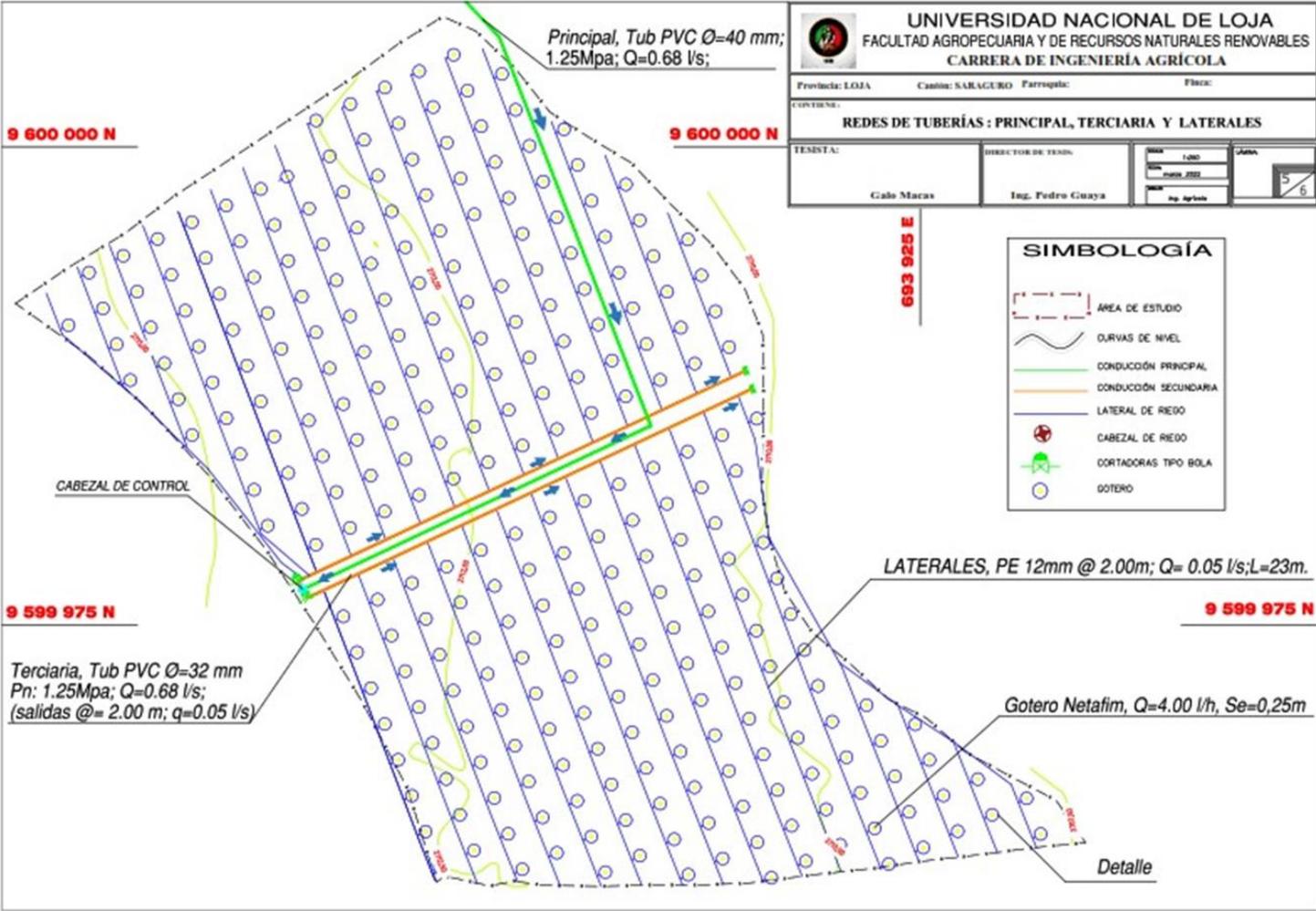
La tubería principal tendrá un diámetro comercial de 40 mm, donde su diámetro interno corresponde a 37,8 mm, la presión de trabajo es de 1,0 MPa, con un caudal de 2,45 m³/h,

además, el flujo de agua se moverá a una velocidad de 0,6 m/s, produciendo pérdidas totales de 2,67 mca, el diseño de distribución de la tubería se lo puede observar en la Figura 8.

La presión requerida a la entrada de las subunidades del cultivo es de 20 mca, con lo que se estaría cubre las pérdidas de carga en laterales, tubería secundaria, equipo de filtrado y presión mínima de funcionamiento de los emisores seleccionados; mientras que el sistema tiene 8,35 mca como energía disponible, quedando sin cubrir 11,65 mca.

Para aportar la energía que falta para el normal funcionamiento del sistema de riego, se utilizará una bomba modelo AL-REDm 600-4 con una potencia de 0,50 HP, la misma que al impulsar 2,45 m³/h y logra alcanzar una altura de impulsión de 19,5 m; por ausencia de energía eléctrica en la zona de estudio, se instalará un panel solar marca JA Solar, modelo JAM72S10-410/PR (Anexo 15), que aporta 410W, suficiente para que el sistema de bombeo funciones correctamente.

Figura 9. Diseño de red de tuberías principales, secundarias y laterales

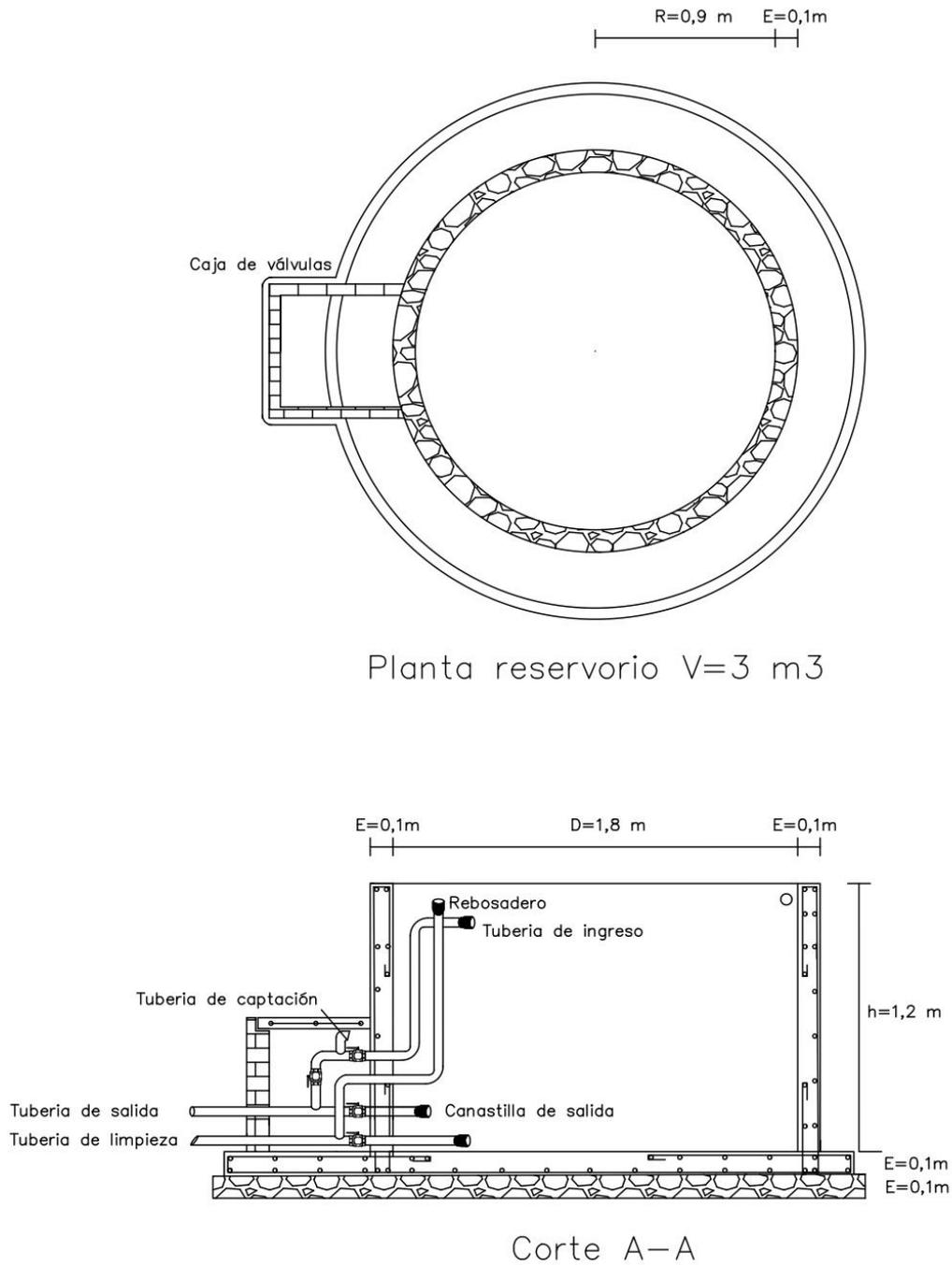


Elaborado por: El autor, 2023.

6.3.3 Diseño de Reservorio

El reservorio tendrá un volumen de 3.0 m^3 , con el cual se podrá disponer del agua necesaria para satisfacer los requerimientos de riego de acuerdo al tiempo de riego calculado.

Figura 10. Detalle constructivo del reservorio de riego.



Elaborado por: El autor, 2023

El caudal necesario para que el sistema de riego funcione durante cada turno de riego es de $1,55 \text{ m}^3/\text{día}$, requerimiento que si se puede abastecer dado que se cuenta con un caudal de entrada de $2,45 \text{ m}^3/\text{h}$; por lo tanto, se diseñó un reservorio con un 5% más de capacidad, previendo cualquier inconveniente que pueda ocurrir en el caudal de abastecimiento.

7. Discusión

7.1 Datos de partida

La densidad aparente del suelo refleja el comportamiento dinámico de la estructura y la porosidad debido a que varía por la acción de agentes externos e internos, Cairo (1995) indica que la densidad de $1,15\text{g/cm}^3$ obtenida en el presente estudio es considerada como baja, lo cual puede ser un indicio de un alto contenido de materia orgánica. Pritchett (1990) realizó una relación entre densidad aparente y textura, en su estudio determinó que, para suelos francos la densidad aparente varía entre $1,30$ a $1,40\text{ g/cm}^3$, característico de suelos franco, mientras que, el suelo del presente estudio corresponde a un suelo de franco-arenoso, por ende, un valor menor, dando a entender que, existe menor masa de suelo y mayor el espacio que ocupa.

El suelo presenta su capacidad máxima de almacenar agua cuando todos sus poros están llenos. A esta condición se le llama contenido hídrico a saturación y su valor es de $45,20\%$, (Génova, 2005), menciona que, por cada 100 g de suelo hay $45,20\text{ g}$ de agua; por otra parte (Dalurzo, 2010), en su trabajo de Régimen hídrico del suelo, obtiene valores similares para 3 profundidades diferentes, promediando un valor de $42,60\%$ de húmedas en un suelo de textura Franco-Limoso. La capacidad de campo (CC) es la cantidad de agua que el suelo puede retener después de que el exceso se ha drenado por gravedad, en el estudio realizado su valor es de $38,15\%$, este valor indica que el suelo tiene una alta capacidad de almacenamiento de agua, que es una condición favorable para el desarrollo de los cultivos (Hernández, 2015). En cuanto al punto de marchitez permanente (PMP), indica un porcentaje de humedad de $20,17\%$, lo que significa, cuando las plantas llegan a este porcentaje de disponibilidad de agua, mueren, por cuanto las raíces no pueden absorber esta agua que se denomina higroscópica. Estos valores coinciden a los reportados por Erreyes (2021) en su trabajo realizado “Diseño de un sistema de riego por aspersión para la producción de forraje y cultivos locales en un predio ubicado en la parroquia San Antonio de Cumbe, cantón Saraguro, provincia de Loja”, donde reportó una CC de $31,92\%$ y un PMP de $17,35\%$, presumiblemente porque pertenecen al mismo piso altitudinal.

Según Vargas y Céspedes (2019), la velocidad de infiltración básica de $180,2\text{ mm/h}$ es muy rápida. Previendo problemas de pérdidas de nutrientes por lavado en los suelos, esto lo corrobora (Ayo et al., 2018), donde señala que un suelo con velocidad de infiltración moderada, es cuando la tasa de infiltración está en un rango de 13 a 25 mm/h , correspondiendo a suelos francos, y franco limoso.

7.2 Determinar los requerimientos de riego del tomate de árbol en la zona en función a la relación suelo-agua-planta.

Identificar la evapotranspiración de referencia es el primer paso que se da para conocer las necesidades hídricas del cultivo. La ETo obtenida en el área en estudio de 3,20 mm/día, coinciden con valores obtenidos por Cárdenas (2021) quien realizó una evaluación de la Evapotranspiración en la región sur del Ecuador, el cual obtuvo valores de 3 a 3,5 mm/día para el cantón Saraguro. Siendo más específicos Salinas (2017), su trabajo lo realizó en San Antonio de Cumbe, parroquia del mismo cantón, aplicando el método de Blaney-Criddle, para calcular la ETo obteniendo un valor máximo de 3,10 mm/día.

Los valores obtenidos de precipitación efectiva (1,68 mm/día), no coinciden con los que obtuvo Maldonado (2017) (3,40 mm/día), en un estudio realizado en la parroquia Urdaneta (2645 m s.n.m) del mismo cantón, ya que este último duplica el valor de precipitación efectiva. Cabe mencionar que el presente estudio se encuentra en un piso altitudinal de 2 773 m s.n.m, por lo tanto, los valores de la precipitación efectiva difieren, por cuanto existe diferencia altitudinal entre los dos estudios, además es de mucha relevancia conocer el valor de precipitación efectiva, pues representa la fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua del cultivo (FAO, 1998).

El requerimiento de riego (RR) máximo de 3,03 mm/día corresponde al mes de agosto. Se encontró que aún en situación húmeda es necesario aplicar riego suplementario para mantener el cultivo en buen estado de humedad. Sin embargo, los requerimientos para esta última situación son menores comparados con los meses donde la precipitación efectiva es baja o nula.

7.3 Diseño de un sistema de riego por goteo en el predio “María Auxiliadora” del sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja.

Los cultivos leñosos se caracterizan por tener una gran cantidad de masa vegetal y un sistema radicular más extenso que los cultivos hortícolas o herbáceos. Esto implica que necesitan marcos de plantación más amplios y una distribución adecuada de los goteros para el diseño del riego (Monge, 2018). En el caso del tomate de árbol, se calculó que las necesidades netas unitarias son de 10,33 l/planta, con una eficiencia del riego del 95 %, ya que el agua se aplica de forma puntual y precisa en la zona radicular de la planta.

La frecuencia de riego depende de la textura y la capacidad de retención de agua del suelo; los suelos arenosos requieren riegos más frecuentes que los suelos arcillosos, ya que retienen menor cantidad de agua. La textura del suelo también influye en la forma del bulbo húmedo que se forma alrededor de los goteros. Se recomienda usar el riego por goteo para aplicar el agua de forma localizada y eficiente, evitando las pérdidas por percolación, encharcamiento del suelo y el mojado de las partes aéreas de la planta. Según el manual de tomate de árbol publicado por la cámara de comercio de Bogotá (2017), el tiempo de riego diario varía según la clase textural y profundidad del suelo. Anguisaca (2020) indica que se necesita 50 minutos de riego diario para suelos franco arcillosos y una profundidad de 0,15 m, mientras que en este estudio se determinó un tiempo de riego de 38 minutos para suelos franco arenosos y una profundidad de 0,35 m.

Karmelli y Keller (1975) citados por Monge (2018) manifiestan que el reparto de las pérdidas de carga en la unidad de riego debe ser un 45 % para la tubería secundaria y un 55 % para la tubería lateral, en el presente estudio se adoptó la recomendación de Montalvo (2005), quien propuso una expresión para determinar el reparto óptimo de presiones, se obtuvo que el 80 % de las pérdidas máximas admisibles en la unidad de riego se asignan a los laterales y el 20 % a la tubería secundaria.

Al ser goteros auto compensados los que se utilizaran en el sistema de riego por goteo, existe un amplio rango de presión permitido, que va desde 5 a 40 mca, por temas de seguridad, dejaremos en 10 mca el diferencial de presión, prediciendo una disminución del diámetro de las tuberías a causa de la acumulación de sedimentos y fertilizantes por el paso del tiempo. (Aguinsaca, 2020), en su investigación realizado en el predio La dolorosa utiliza emisores de 4 a 25 mca, de 10 l/h de caudal, se hizo esta elección a razón que el reservorio se encuentra en la parte superior del predio y cuenta con una presión de 3 bares, necesaria para que los emisores funcionen sin inconvenientes.

Los laterales de riego para el cultivo de tomate de árbol tienen una longitud máxima de 23,00 m, son de polietileno, con una presión de trabajo de 0,63 MPa, se seleccionó un diámetro comercial de 12 mm cuyo diámetro interno es de 10,20 mm, caudal de 240 l/h, velocidad de 0,82 m/s y una pérdida de carga total de 1,15 mca, estos valores se enmarcan dentro del rango admisible del diferencial de presión.

Los laterales de riego se definen en función de la máxima diferencia de presión permitida, mientras admita una mayor pérdida de carga, se establecerá mayores longitudes del lateral, menores diámetros de tubo y una mejor adaptación a los terrenos con fuertes pendientes, como es el caso de los laterales con goteros compensantes (Monge, 2018).

Las sub unidades de riego para el cultivo de tomate de árbol, se diseñaron en función de la forma y topografía del terreno, están compuestas por 15,00 laterales dispuestos a 2,00 m de distancia, paralelos a las curvas de nivel, por lo que el porcentaje de pendiente es 0 %, demandando un caudal de 240 l/h cada uno, por lo cual el sistema de riego por goteo se regara en dos tandas diariamente, cubriendo de esta manera el requerimiento de riego de cada subunidad; en cuando a la tubería secundaria, será de 28,30 m dispuesta de forma perpendicular a los laterales, (Figura 9).

El predio María Auxiliadora cuenta con el caudal suficiente, por cuanto dispone de un caudal de 2,45 m³/h, mientras que el requerimiento del área de riego de los cultivos es de 1,55 m³ en 38 minutos para el mes de mayor demanda, agosto.

8. Conclusiones

- El riego por goteo con eficiencia del 95 % se implementará en un área de 0,15 ha, dividido en 2 subunidades de riego, las cuales tendrán un marco de plantación de 2,00 x 2,00 m entre plantas e hileras.
- El suelo del área de estudio presentó una textura franco-arenoso, las propiedades hidrofísicas: Saturación 45,20 %; CC de 38,15 %; PMP de 20 %; Da de 1,15 g/cm³. AA de 19,54 %, CA de 7,56 %, y VPI de 53,57 %.
- El mayor requerimiento de riego se da en el mes de agosto con un valor de 3,03 mm/día, mientras que el menor se da en enero con un valor de 1,35 mm/día.
- El diseño agronómico determinó que cada planta de tomate de árbol tendrá un requerimiento de 10,33 l/día, los mismos que se aplicarán durante 38 minutos por día.
- Los laterales de riego son de tubería de polietileno (PE), con diámetro comercial de 12 mm, diámetro interno de 10,20 mm; con pérdidas de carga totales de 1,15 mca, un caudal a la entrada de 240 l/h y una velocidad de 0,82 m/s, a los cuales se conectarán goteros auto compensados insertables, en un número de cuatro emisores por cada planta.
- En conducciones terciarias se emplearán tuberías de PVC de 28,3 m de longitud, con diámetro interno de 21 mm, una presión de trabajo de 1,00 MPa; con un caudal al inicio de 2,22 m³/h con una velocidad de 1,78 m/s, produciendo pérdidas totales de 2,34 mca.
- Será necesario añadir al sistema una bomba monofásica modelo AL-REDm 600- 4 con una potencia de 0,50 HP, que complementará la energía necesaria para el funcionamiento del área de riego propuesto.
- La inversión necesaria para implementar el sistema de riego por goteo en el área de estudio tiene un valor de 2 533,35 \$ dólares americanos; los mismos que se desglosan en rubros de: Captación, conducción principal, válvulas y accesorios, cabezal de riego, tubería secundaria, laterales de riego, desbroce y limpieza, excavación y relleno sin compactar, ver Anexo 9. Por otro lado, también se toma en cuenta los valores de los recursos humanos como: personal técnico, personal auxiliar, viajes y viáticos, servicios, equipos e instalaciones y suministros (presupuesto detallado en Anexo 9).

9. Recomendaciones

En función de los resultados obtenidos y conclusiones generadas, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Se realicen otros estudios dirigidos a la tecnificación de los métodos de riego para que los agricultores del Cantón Saraguro logren aprovechar pequeños caudales existentes en sus propiedades.
- Evaluar y Calibrar el sistema de forma periódica, para garantizar una correcta uniformidad de emisión, así como el adecuado funcionamiento de sus partes.
- Propiciar investigaciones sobre sistemas de riego localizado, para el Cantón Saraguro, impulsados con energía fotovoltaica a fin de evaluar los costos de operación y mantenimiento.
- Por ausencia de energía eléctrica en la finca María Auxiliadora es recomendable implementar un generador de energía alterna como un sistema de energía fotovoltaica, por lo que se sugiere un panel solar modelo JA Solar 410W Mono PERC Half Cell - JAM72S10-410/PR (detalle constructivo panel solar Anexo 14).

10. Bibliografía

- Acosta, P. (2011). *Caracterización morfológica y molecular de tomate de árbol, Solanum betaceum Cav. (Solanaceae)* [TESIS DOCTORAL, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID]. https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Fruitiers/FICHES_ARBRES/Tamarillo_tomate_arbustive/Caracterizaci%C3%B3n%20morfol%C3%B3gica%20y%20molecular%20de%20tomate%20de%20%C3%A1rbol.pdf
- Agüero. (2004). *Diseño y construcción reservorios apoyados.pdf*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AG%C3%9CERO%202004.%20Dise%C3%B1o%20y%20construccion%20reservorios%20apoyados.pdf
- Angella, G., Frías, C., & Salgado, R. (2016). *Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta*.
- Antunez, A., Felmer, S., & Mora, D. (2009). *Eficiencia de riego en sistemas localizados* [TESIS DOCTORAL, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Rayentue]. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7272/NR36474.pdf?sequence=9&isAllowed=y>
- Acosta, P. (2011). *Caracterización morfológica y molecular de tomate de árbol, Solanum betaceum Cav. (Solanaceae)* [TESIS DOCTORAL, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID]. https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Fruitiers/FICHES_ARBRES/Tamarillo_tomate_arbustive/Caracterizaci%C3%B3n%20morfol%C3%B3gica%20y%20molecular%20de%20tomate%20de%20%C3%A1rbol.pdf

- Agüero. (2004). *Diseño y construcción reservorios apoyados.pdf*.
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AG%C3%9CERO%202004.%20Dise%C3%B1o%20y%20construccion%20reservorios%20apoyados.pdf
- Aguinsaca, D. (2020). *Diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo y microaspersión en el predio “La dolorosa” de la parroquia Chuquiribamba, cantón y provincia de Loja* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23303/1/Diana%20Elizabeth%20Aguinsaca%20Medina.pdf>
- Angella, G., Frías, C., & Salgado, R. (2016). *Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta*.
- Antunez, A., Felmer, S., & Mora, D. (2009). *Eficiencia de riego en sistemas localizados* [TESIS DOCTORAL, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Rayentue].
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7272/NR36474.pdf?sequence=9&isAllowed=y>
- Arroyo, M. M. (2017, septiembre 11). *El Riego Inteligente en la agricultura* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/manuel-martin-arroyo/riego-inteligente-agricultura>
- Assan, M., & Gorosito, S. (2018). *RELACION AGUA SUELO PLANTA (1)-SERIE DIDACTICA N°1 CATEDRA DE RIEGO Y DRENAJE. FCA UNCA*.
<http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CUADERNOS%20DE%20CATEDRA/Guia%20didactica%20RASPAS%20Assan.pdf>
- Ayo, V., Betancourt, A., Castañeda, R., & Escudero, W. (2018). *Hidrología infiltración*.
<https://www.slideshare.net/WILSONESCUDERO4/hidrologia-infiltracion-96570365>

- Barriga Perugachi, L. Y. (2012). *Evaluación de la resistencia a Colletotrichum acutatum de poblaciones de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav) en estado de plántula: Cutuglahua - Pichincha 2011* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3752>
- Bedoya, M., & Ángeles, V. (2016). Estrategias para estimar el coeficiente de uniformidad en laterales de riego. *Ingeniería y Región*, 16(2), 65. <https://doi.org/10.25054/22161325.1300>
- Bejar Pulido, S. J., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., Luna Robles, E. O., Bejar Pulido, S. J., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., & Luna Robles, E. O. (2020). Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(59), 31-50. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.666>
- Cadena, V. H. (2016). *Hablemos de riego* (2. ed). CONGOPE. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HRAGR.pdf>
- Dalurzo, H. (2010). *Régimen hídrico del suelo y producción de viñas bajo diferentes sistemas de riego en Riamat* [TESIS DOCTORAL, Universidad de Lleida]. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8249/Thucd1de1.pdf>
- Durán, A. (2016). *MEJORAMIENTO DE LA “RED DE DISTRIBUCIÓN” DEL SISTEMA DE RIEGO DE LA ASOCIACIÓN DE TRABAJADORES AGRÍCOLAS LARCACHACA CANTÓN CAYAMBE.*
- FAO. (2006). *Programa de Desarrollo de la Agroindustria Rural de América Latina y el Caribe*. <https://www.fao.org/3/ae620s/ae620s.pdf>
- FAO. (2011). *EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO*. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>

- Fernández, R. (2010). *MANUAL DE RIEGO PARA AGRICULTORES MODULO 4: Riego localizado*.
https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO_BAJA.pdf
- INTAGRI. (2015). *Sistema de Riego por Goteo*. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>
- Jiménez, S. I. J., & Ramirez, C. (2018). *DISEÑO HIDRÁULICO DE TUBERÍAS CON SALIDAS MÚLTIPLES MEDIANTE MÉTODOS NUMÉRICOS*.
<https://www.riego.mx/congresos/comeii2018/assets/ponencias/extenso/18057.pdf>
- Liotta, M. (2015). *RIEGO POR GOTEO*.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- Martínez, C. (2016). *REDISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO PARA EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE A UNA CASA HABITACIÓN A TRAVÉS DE TANQUES HIDRONEUMÁTICOS* [Tesis profesional, ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA].
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17313/TESIS%20CRISTINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, F. J. M. (2014). *Introducción al Riego*.
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/67110/toc_6152_01_01.pdf?sequence=7
- Morales, J., Unda Galarza, J. R., Martínez, A., & León F., J. (2000). *Diagnóstico agro-socio-económico del cultivo de tomate de árbol en cuatro provincias de la Sierra (Imbarura, Pichincha, Tungurahua, Azuay)*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3576>
- Mossande, A. R., Brown Manrique, O., & Mujica, A. (2015). Requerimientos hídricos del tomate en el valle de Cavaco en Benguela, Angola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 5-10.

- Ortiz Calle, R., Pazmiño Mayorga, J., & Chile Asimbaya, M. (2021). Eficiencias en el sistema de riego Tumbaco, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 14(1), 1-10. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i1.443>
- Ortiz, R., & Chile, M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra*, 7(1), 001-010. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1450>
- PDOT. (2015a). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Loja 2015-2025*. <https://prefecturaloja.gob.ec/documentos/lotaip/2019/PDOT-2019.pdf>
- PDOT. (2015b). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN SARAGURO Periodo 2014-2019*. <https://docplayer.es/75326946-Plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-del-canton-saraguro-periodo.html>
- Rodríguez-Vásquez, A. F., Aristizábal-Castillo, A. M., & Camacho-Tamayo, J. H. (2008). Variabilidad espacial de los modelos de infiltración de Philip y Kostiakov en un suelo Ándico. *Engenharia Agrícola*, 28, 64-75. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000100007>
- Rotoplas, rotoplasmx. (2022). *¿Para qué sirve un tanque reservorio de agua?* [Comercio]. Rotoplas Centroamérica. <https://rotoplascentroamerica.com/para-que-sirve-un-tanque-reservorio-de-agua/>
- Servín, M., Tijerina, L., Medina, G., Palacios, O., Flores, H., Servín Palestina, M., Tijerina Chávez, L., Medina García, G., Palacios Velez, O., & Flores Magdaleno, H. (2017). Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 423-430. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.61>

- Toala, M. G. D. (2016). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE DE ÁRBOL EN LA PROVINCIA DE IMBABURA Y SU COMERCIALIZACIÓN EN LOS MERCADOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO*.
- UIDR. (2016). DISEÑO AGRONÓMICO RIEGO POR GOTEÓ. En *RIEGO POR GOTEÓ EN LEÑOSOS*. http://www.universidadderiego.com/wp-content/uploads/2017/02/DAG_Ejercicio-arb%C3%B3reo-2.pdf
- Villafáfila, E., & Wyss, F. (2009). *RIEGO EN HORTICULTURA-Guía para la instalación de pequeños sistemas de riego*. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-riego-en-horticultura.pdf>
- Villazón, J. A., Noris, P., & Martín, G. (2021). Determinación de la precipitación efectiva en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. *Idesia (Arica)*, 39(2), 85-90. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000200085>
- Zapatta, A., Ramos, A., Rodríguez, G., & Valdivieso, S. (2019). *PLAN NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2019—2027*.
- Assan, M., & Gorosito, S. (2018). *RELACION AGUA SUELO PLANTA (1)-SERIE DIDACTICA N°1 CATEDRA DE RIEGO Y DRENAJE. FCA UNCA*.
- Barriga Perugachi, L. Y. (2012). *Evaluación de la resistencia a Colletotrichum acutatum de poblaciones de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav) en estado de plántula: Cutuglahua - Pichincha 2011* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3752>
- Bedoya, M., & Ángeles, V. (2016). Estrategias para estimar el coeficiente de uniformidad en laterales de riego. *Ingeniería y Región*, 16(2), 65. <https://doi.org/10.25054/22161325.1300>

- Bejar Pulido, S. J., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., Luna Robles, E. O., Bejar Pulido, S. J., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., & Luna Robles, E. O. (2020). Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(59), 31-50. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.666>
- Acosta Quezada, P. (2011). *Caracterización morfológica y molecular de tomate de árbol, Solanum betaceum Cav. (Solanaceae)*. Madrid . https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Fruitiers/FICHES_ARBRES/Tamarillo_tomate_arbustive/Caracterizaci%C3%B3n%20morfol%C3%B3gica%20y%20molecular%20de%20tomate%20de%20%C3%A1rbol.pdf
- AGROLOGICA. (26 de junio de 2012). *AGROLOGICA, Diagnóstico de plagas, Base de datos actualizadas de España*. <http://blog.agrologica.es/disenio-paso-a-paso-de-un-sistema-de-riego-por-goteo-en-una-parcela-real/>
- Angella, G., Frías, C., y Salgado, R. (2016). *Conceptos Básicos de las Relaciones Agua-Suelo-Planta*. INTA, Argentina. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-_conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua_suelo_planta.pdf
- Antunez B, A., Felmer E, S., y Mora L, D. (2009). *Eficiencia de riego en sistemas localizados*. Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, no. 190., San Fernando. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7279>
- Assan, M., y Gorosito, S. (2018). *Relación agua - suelo - planta*. Catedra de Riego y Drenaje FCA UNCA, Serie Didáctica N° 1 . <http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20online/CUADERNOS%20DE%20ATEDRA/Guia%20didactica%20RASPAS%20Assan.pdf>

- Barriga Perugachi, L. (2012). *Evaluación de la resistencia a Colletotrichum acutatum de poblaciones de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav) en estado de plántula. Cutuglahua - Pichincha*. Universidad Politécnica Salesiana de Quito, Quito.
- Bohórquez Caro, J. M. (2014). *PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE EVALUACIONES DE RIEGO LOCALIZADO*. Guías de Producción y Recomendaciones, Sevilla - España.
<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/9e3f6cfd-009a-4d34-a617-ac23c42a24bb>
- Cadena Navarro, V. (2016). *Hablemos de riego con los agricultores. Segunda Edición*. CONGOPE. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=hablemos-de-riego-con-los-agricultores>
- Calvache U, M. (2013). *Riego Andino Tecnificado*. Universidad Central del Ecuador. Quito: Editorial Universitaria. https://www.researchgate.net/profile/Angel-Calvache-Ulloa/publication/337484474_RIEGO_ANDINO_TECNIFICADO_PARA_FERTIRRIEGO/links/5ddb307d92851c1fedaf59e9/RIEGO-ANDINO-TECNIFICADO-PARA-FERTIRRIEGO.pdf
- Campos, D. (2013). *Propiedades físicas del suelo*. SLIDESHARE.
<https://es.slideshare.net/vandick20/propiedades-fsica-de-los-suelos>
- Castillo C, C. (2005). *Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá El Tuma - La Dalia Matagalpa*. Trabajo de Diploma, Universidad Nacional Agraria, Managua - Nicaragua.
<https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp35c352.pdf>

- Castro, C. M. (2009). Lamina neta (Ln) de aplicación de agua. *KNOLS*.
<https://elknol.wordpress.com/article/lamina-neta-ln-de-aplicacion-de-agua-1i29ptfum49sf-20/>
- Cisneros, E. Z. (2015). *Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el café en la provincia de Pinar del Río*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.
- CONGOPE, C. d. (2017). *Hablemos de riego*. Quito: El Telégrafo.
<http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>
- Crane. (1942). *Flujo de fluidos en valvulas y accesorios*. Crane. Co.
- Demin , P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*. INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf
- ECOTEC. (2020). *El Agua en el suelo*.
https://www.ecotec.edu.ec/material/material_2020A1_AGR100_01_135669.pdf
- EUROABC. (2015). *BLOG DE LISIMETRO*. <https://blog.lisimetro.com/2015/10/08/que-es-la-curva-de-retencion-de-humedad-y-la-curva-de-conductividad-hidraulica/>
- FAO. (2005). *BOLETIN DE SUELOS DE LA FAO 79*.
<https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s06.htm>
- FAO. (2005). *Hidrología, arquitectura del suelo y el movimiento del agua*. Roma.
<https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s06.htm>
- FAO. (2006). *Fichas técnicas PRODAR (Programa de Desarrollo de la Agroindustria Rural de América Latina y el Caribe)*. <https://www.fao.org/3/ae620s/ae620s.pdf>

- Feicán Mejía, C., Encalada Alvarado, C., y Becerril Román, A. (2016). Descripción Agronómica del cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*, 9.
- Fernández Gómez, R., Ávila, R., López, M., Gavilán, P., y Oyonarte, N. (2010). *Manual de riego para agricultores: módulo 1. Fundamentos del riego : manual y ejercicios*. Andalucía, Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Fernández R, Yruela Morillo, M., Milla, M., Garcia, J., y Oyonarte N. (2010). *Manual del riego para el agricultor: Módulo 1. Fundamentos del riego* ((1era edit.) ed.). Sevilla.
- García, J., Sosa, F., y Ullivarri, J. (2018). *El Agua del Suelo*. Cátedra de Edafología, Tucumán. <https://www.edafologia.org/app/download/7953452876/Agua+del+Suelo+X.pdf?t=1587690300>.
- Herrera, J., Meneses, J., Duarte, C., González, F., y Hervís, G. (2020). Determinación del coeficiente de cultivo para la estimación de la evapotranspiración del arroz en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542020000300005&script=sci_arttext&tlng=es
- INTA. (2013). *Riego presurizado*. Centro Regional Mendoza. Agencia de extensión Rural, San Juan - Argentina. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_hoja_informativa_riego_por_goteo_olivo-_julio_.pdf
- INTAGRI. (2015). *Sistema de Riego por Goteo. Fundamentos para un diseño eficiente*. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>
- INTAGRI. (2019). Diseño Agronómico del Sistema de Riego por Goteo. *Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura*. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/disenio-agronomico-del-sistema-de-riego-por->

- Monge, A. M. (2018). *Diseño Agronómico e Hidráulico de Riegos Agrícolas a Presión*. Madrid, España: Editorial agrícola Española, S. A.
- Montalvo, T. (2005). *Riego localizado diseño de instalaciones*. Valencia: Rápida Llorens, S. L.
- Monterroso, H. N. (2015). *Efecto del umbral de riego durante la etapa de elongación de la caña de azúcar*. Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/17/Monterroso-Hector.pdf>
- Morales, J. (2001). *Diagnóstico agro socio-económico del cultivo de tomate de árbol (Cyphomandra betacea Sendt) en cuatro provincias de la Sierra Ecuatoriana*. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Naranjo, A., Pertuz, J., y Lizarazo, J. (2019). *Cálculo de las pérdidas de carga de un sistema de redes hidráulicas en una planta de tratamiento de agua industrial en Barrancabermeja, Santander*.
<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4783/R-DC-95.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Ojeda, A., McLeod, C., Águila, K., y Pino, M. T. (2018). *Bases para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo del calafate in situ, para su adaptación al manejo agronómico*. Informativo INIA, Punta Arenas.
<https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/4880> (Consultado: 28 enero 2022).
- Olguín Pringles, A. (2016). *Evaluación integral de desempeño del método de riego por goteo en Vid, en la zona este y norte del Oasis de Tulum*. San Juan - Argentina.
https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/6136/INTA_CRMendozaSanJuan_EEASanJuan_OlguinPringles_A_Evaluacion_integral_del_desempe%C3%B1o_del_metodo_de_riego.pdf?sequence=1&isAllowed=n

- Ortiz, X., Acevedo, X., y Martínez, H. (2002). *Características Y Estructura de los Frutales de Exportación en Colombia*. Documento de Trabajo N°19, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá - Colombia.
https://books.google.com.ec/books?id=gNM_93QCikOC&pg=PA19&dq=tomate+de+arbol&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiMzMCg2sr1AhVxRDABHZn8DpU4ChDoAXoECAIQAg#v=onepage&q=tomate%20de%20arbol&f=false
- Pachés G, M. (2019). *El agua en el suelo_fuerzas de retención*. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Valencia.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/121154/Pach%C3%A9s%20-%20El%20agua%20en%20el%20suelo.%20Fuerzas%20de%20retenci%C3%B3n.pdf?sequence=1>
- Pereira, L., Juan Valero , Picornell, M., y Tarjuelo M, J. (2010). *EL RIEGO Y SUS TECNOLOGÍAS* (Primera Edición ed.). España.
http://crea.uclm.es/crea/descargas/_files/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf
- Pesca, I. d. (2010). *Manual de riego para agricultores. Módulo 4. Riego localizado*. Sevilla.
- Pizarro, F. (1996). *Riegos Localizados de Alta Frecuencia* (3era Edición ed.). España: Mundi Prensa.
- Quinde Guamán, P., y Zhagui, J. (2019). *Diseño de un sistema de riego presurizado para el sector Pungoloma de la comunidad de Quilloac del Cantón Cañar, provincia de Cañar*. UNIVERSIDAD DEL AZUAY, Cuenca.
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8712/1/14371.pdf>
- Rojas Maldonado, T;. (2007). *Diseño de métodos de riego superficial por gravedad*. UNL, Loja. <https://es.slideshare.net/eudoro2020/texto-guia-riegos2013-191142793>

- Rucks, L. G. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Universidad de la República, Montevideo - Uruguay. <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- S.A.S. (2015). *Manual Tomate de Árbol*. Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial Vicepresidencia de Fortalecimiento Empresarial Cámara de Comercio de Bogotá, Bogotá.
<https://sacaba.gob.bo/images/wsacaba/pdf/libros/agronomia/TomateDeArbol.pdf>
- Silva, P., Silva, H., Garrido, M., y Acevedo, E. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*. Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago - Chile.
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130642/Manual-de-estudio-y-ejercicios-relacionados-con-el-contenido-de-agua.pdf;sequence=4>
- SNIP. (2012). *FORMULACIÓN Y DISEÑO DE PROYECTOS CON RIEGO TECNIFICADO EN EL MARCO DEL SISTEMA NACIONAL DE INVERSIÓN PÚBLICA*.
https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/capacidades/capac_12/PRESENTACIONES_julio_ago/RIEGO/3_Formulaci_Riegos.pdf
- Taboada, M., y Alvarez, C. (2008). *Fertilidad Física de los Suelos* (2da Ed. ed.). Argentina: Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Tapia Cadena, D. (2014). *MANUAL DE DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO. TRABAJO DE GRADUACIÓN, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR*, Quito. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2581/1/T-UCE-0011-96.pdf>
- Ticona, Y. (2013). *Determinación del bulbo húmedo con goteros de diferente caudal en dos suelos*. Universidad Nacional Agraria la Molina.

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1845/F06.T5-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Uribe, H. (sf). *Diseño Hidráulico del Riego Localizado*. INIA. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/33816/NR25859.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zapata Chicaiza, A. (2014). *EVALUACIÓN DE TRES SISTEMAS DE TUTORADO CON LA APLICACIÓN DE DOS FERTILIZANTES FOLIARES A BASE DE Ca Y B, PARA DISMINUIR EL ABORTO DE FLORES Y FRUTOS EN EL CULTIVO DE TOMATE DE ÁRBOL (Solanum betaceum) EN ISINCHE-PUJILI, COTOPAXI*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga - Ecuador. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2559/1/T-UTC-00096.pdf>

11. Anexos

Anexo 1. Resultado de análisis del suelo en el laboratorio



UNL
Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
LABORATORIO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGÍA

Provincia:	Loja	FECHA DE INGRESO:	07/07/2021
Cantón:	Saraguro	FECHA DE EGRESO:	06/08/2021
Parroquia:	Saraguro	RESPONSABLE:	Sr. Galo Michael Macas Parra
Sector:	Zhindara		
Tesis:	"Diseño de un Sistema de Riego por Goteo para tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) en la finca María Auxiliadora del sector Troncopamba, parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Nro. Laboratorio	Cilindro	% Saturación	% Humedad a 1/10	% Humedad a 1/3	P.M.P (% Humedad a 15 atm.)	Densidad Aparente (g/cm ³)
2770	15Y	45,36	42,41	38,33	16,28	1,15
2771	23,0	47,49	43,09	39,41	24,07	1,11
2772	10,0	42,77	39,92	36,72	19,64	1,19

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Ciudad Universitaria "Guillermo Falconí Espinosa" Casilla letra "S"

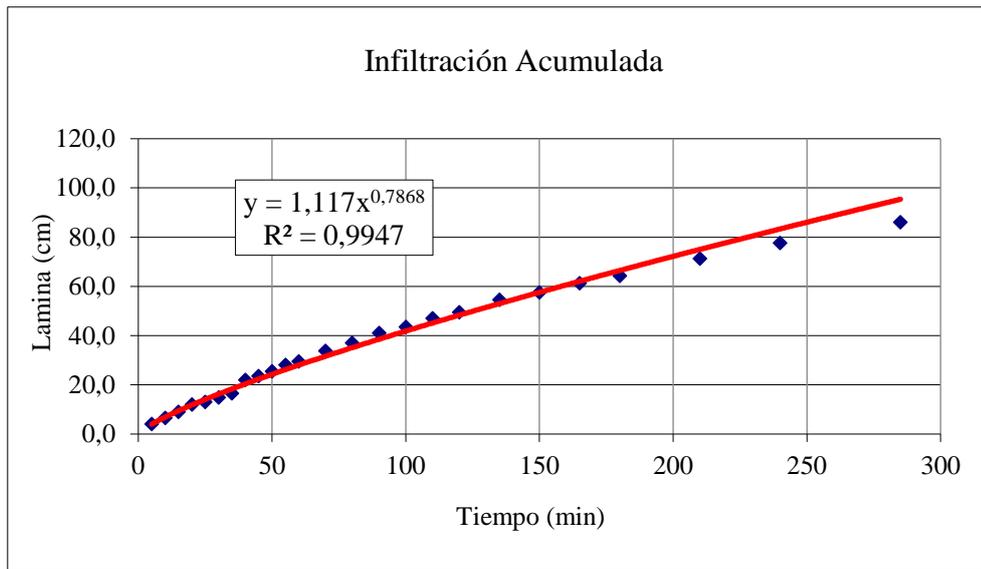
Laboratorio.suelos@unl.edu.ec

Teléfono: 2547 – 252 Ext. 112

Anexo 2. Datos de prueba de la velocidad de infiltración básica

Tiempo acumulado	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
min	cm/min	cm/min	cm/min
5	0,62	1,01	0,35
10	0,54	0,84	0,31
15	0,49	0,75	0,28
20	0,46	0,69	0,27
25	0,44	0,65	0,26
30	0,42	0,62	0,25
35	0,41	0,6	0,24
40	0,4	0,58	0,24
45	0,39	0,56	0,23
50	0,38	0,54	0,23
55	0,37	0,53	0,22
60	0,37	0,52	0,22
70	0,35	0,5	0,21
80	0,34	0,48	0,21
90	0,34	0,46	0,2
100	0,33	0,45	0,2
110	0,32	0,44	0,19
120	0,32	0,43	0,19
135	0,31	0,42	0,19
150	0,3	0,41	0,18
165	0,29	0,4	0,18
180	0,29	0,39	0,18
210	0,28	0,37	0,17
240	0,27	0,36	0,17
285	0,26	0,34	0,16

Anexo 3. Curva de infiltración acumulada



Anexo 4. Datos meteorológicos de precipitación y temperatura de la estación Saraguro

Datos de precipitación

PRECIPITACION (1990- 2015)														
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1990	39.00	112.60	80.90	89.60	98.10	44.50	39.70	28.10	10.80	39.00	75.10	53.40	710.80	59.23
1991	32.00	60.20	124.60	28.60	48.10	28.90	16.60	28.40	18.20	51.10	86.90	94.00	617.60	51.47
1992	38.10	101.70	77.80	67.50	72.10	54.00	59.80	31.40	70.70	20.70	44.20	43.40	681.40	56.78
1993	76.50	179.10	404.00	139.20	20.60	21.20	26.30	13.40	35.50	65.50	66.40	156.30	1204.00	100.33
1994	131.90	85.10	173.50	141.00	30.80	56.50	22.50	81.50	55.10	43.20	66.00	78.60	965.70	80.48
1995	13.70	77.00	94.30	118.50	44.00	20.00	45.20	8.20	23.90	36.30	147.70	108.40	737.20	61.43
1996	75.20	98.70	100.60	66.90	48.60	63.10	51.80	14.90	29.70	99.60	29.40	47.00	725.50	60.46
1997	143.20	109.50	107.70	60.30	56.80	20.00	31.00	31.10	36.60	50.10	90.00	82.00	818.30	68.19
1998	39.10	67.00	187.10	79.40	89.30	10.00	30.50	28.60	29.90	84.70	45.90	42.50	734.00	61.17
1999	129.00	254.00	157.50	62.40	112.80	66.70	42.40	28.40	63.20	35.60	24.80	179.70	1156.50	96.38
2000	79.70	126.40	146.20	85.70	60.10	59.50	11.30	28.50	33.60	50.10	56.00	65.60	802.70	66.89
2001	82.00	82.80	122.10	43.20	61.70	53.20	16.70	26.60	23.60	29.80	79.20	66.80	687.70	57.31
2002	21.60	71.90	68.40	95.90	83.40	54.50	54.00	18.30	7.20	51.80	54.50	116.90	698.40	58.20
2003	26.40	48.60	119.50	97.40	54.00	28.90	24.50	13.60	46.80	43.80	65.30	79.40	648.20	54.02
2004	50.80	51.40	55.80	103.90	50.10	58.20	17.00	4.40	42.00	60.00	95.50	75.10	664.20	55.35
2005	48.00	104.00	218.00	81.90	36.70	28.40	11.20	6.80	27.90	37.90	7.40	150.00	758.20	63.18
2006	65.00	99.20	128.10	67.30	10.40	63.80	13.70	15.40	11.00	45.10	123.60	83.60	726.20	60.52
2007	105.80	42.00	85.30	120.80	44.60	39.40	15.60	48.20	22.50	69.40	65.50	117.80	776.90	64.74
2008	58.20	148.00	155.50	115.30	83.70	46.10	23.20	42.40	25.40	86.80	107.00	62.60	954.20	79.52
2009	150.70	87.00	108.20	56.00	41.50	21.40	26.30	22.00	20.40	68.30	41.00	63.80	706.60	58.88
2010	29.80	111.30	56.40	107.70	91.90	57.70	52.10	16.20	29.10	36.10	63.20	112.50	764.00	63.67
2011	84.60	112.70	62.10	108.50	79.10	42.60	46.15	17.80	26.60	55.90	44.20	147.90	828.15	69.01
2012	160.30	142.50	67.80	130.20	74.50	47.40	40.20	19.40	24.10	75.70	56.40	70.20	908.70	75.73
2013	74.10	113.70	68.10	13.60	69.90	47.90	35.35	18.15	24.25	80.65	44.60	93.15	683.45	56.95
2014	85.60	84.90	270.10	50.40	159.40	48.40	30.50	16.90	24.40	85.60	32.80	116.10	1005.10	83.76
2015	97.10	36.30	175.60	75.80	51.50	103.40	51.50	30.80	19.20	58.45	67.19	96.11	862.95	71.91
SUMA	1937.40	2607.60	3415.20	2207.00	1673.70	1185.70	835.10	639.45	781.65	1461.20	1679.79	2402.86	20826.65	1735.55
MAX	160.30	254.00	404.00	141.00	159.40	103.40	59.80	81.50	70.70	99.60	147.70	179.70	1204.00	100.33
MED	74.52	100.29	131.35	84.88	64.37	45.60	32.12	24.59	30.06	56.20	64.61	92.42	801.03	66.75
MIN	13.70	36.30	55.80	13.60	10.40	10.00	11.20	4.40	7.20	20.70	7.40	42.50	617.60	51.47
DESV	41.97	45.98	77.14	33.12	31.09	19.93	14.84	15.52	15.19	20.28	31.05	36.59	150.38	12.53
CV (%)	0.56	0.46	0.59	0.39	0.48	0.44	0.46	0.63	0.51	0.36	0.48	0.40	0.19	0.19

Datos de temperatura

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Total	Media
1990	13.2	14.0	10.6	13.5	15.2	13.4	20.0	18.7	20.8	22.5	13.6	11.4	171.6	28.6
1991	11.0	11.8	11.0	10.2	16.1	15.6	14.5	13.6	10.5	10.9	10.5	11.2	146.7	22.6
1992	11.7	11.6	11.5	11.1	11.2	10.7	13.8	10.4	9.9	10.7	13.7	14.4	140.4	21.6
1993	13.4	13.3	13.2	14.9	15.1	14.3	13.0	13.7	14.0	15.2	15.6	14.9	170.8	26.3
1994	14.6	15.4	15.3	11.3	16.1	10.6	9.1	13.0	13.4	5.2	14.9	16.0	154.7	23.8
1995	10.7	20.3	15.6	16.2	19.9	12.1	10.8	14.2	14.9	14.7	14.5	14.7	178.4	27.5
1996	14.4	19.7	15.2	15.0	14.3	13.6	12.6	14.9	14.3	14.0	14.3	14.9	177.2	27.3
1997	14.5	14.3	14.4	19.6	14.2	14.7	14.4	20.1	20.5	21.4	19.5	20.1	207.5	31.9
1998	14.6	15.8	20.1	15.9	15.4	14.6	14.8	10.5	9.5	16.7	10.1	14.4	172.3	26.5
1999	14.7	15.6	15.1	15.1	10.9	11.4	8.6	14.7	10.7	14.9	11.1	15.3	157.9	24.3
2000	15.0	15.5	15.2	11.7	16.3	14.9	14.7	14.4	10.2	13.1	13.2	15.4	169.5	26.1
2001	17.7	14.9	15.4	15.6	15.2	10.1	14.5	14.0	9.8	11.3	15.2	15.6	169.1	26.0
2002	20.3	10.8	16.3	15.5	10.5	14.8	10.5	16.4	8.6	16.2	15.1	12.6	167.3	25.7
2003	11.0	20.7	20.6	16.2	16.3	19.1	12.6	18.8	10.5	21.2	14.9	11.0	192.4	29.6
2004	8.2	20.4	16.1	20.4	15.7	12.6	14.7	14.1	9.3	15.1	14.6	15.3	176.5	27.1
2005	21.7	15.6	14.4	11.2	13.6	20.9	14.2	9.0	16.5	15.2	14.7	20.0	186.8	28.7
2006	19.0	15.7	11.0	15.7	19.5	14.5	9.7	14.6	15.1	14.4	16.0	15.6	180.8	27.8
2007	16.3	11.2	11.9	17.1	19.6	11.2	15.0	9.8	18.7	14.4	14.8	13.9	173.7	26.7
2008	14.0	8.7	8.8	9.4	14.0	14.5	13.7	12.4	17.1	15.2	15.6	15.6	158.9	24.4
2009	15.4	15.4	15.6	15.5	15.5	15.2	14.8	15.0	15.5	15.9	15.6	16.0	185.4	28.5
2010	15.9	16.4	16.6	16.4	16.3	15.2	15.1	14.5	15.2	15.6	14.8	15.0	187.0	28.8
SUMA	307.0	316.9	303.5	307.3	305.5	293.8	281.0	296.5	284.7	313.5	302.1	313.0	3624.8	557.7
MAX	21.7	20.7	20.6	20.4	19.9	20.9	20.0	20.1	20.8	22.5	19.5	20.1	207.5	31.9
MED	14.6	15.1	14.5	14.6	15.3	14.0	13.4	14.1	13.6	14.9	14.4	14.9	172.6	26.7
MIN	8.2	8.7	8.8	9.4	10.5	10.1	8.6	9.0	8.6	5.2	10.1	11.0	140.4	21.6
DESV	3.2	3.3	2.9	2.9	2.6	2.6	2.6	2.8	3.8	3.8	2.0	2.3	15.5	2.4
CV (%)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1

Anexo 5. Datos de evapotranspiración (ETo)

Meses	MF	TMF	TMF	CH	CE	Eto	ETo
	mm/mes	°C	°F			mm/mes	mm/día
Enero	2,39	13,01	55,41	0,63	1,05	87,76	2,83
Febrero	2,17	13,48	56,26	0,65	1,05	83,37	2,98
Marzo	2,36	12,84	55,11	0,66	1,05	90,32	2,91
Abril	2,15	13,02	55,44	0,68	1,05	85,25	2,84
Mayo	2,05	13,66	56,59	0,69	1,05	84,69	2,82
Junio	1,89	12,38	54,28	0,72	1,05	77,22	2,57
Julio	1,99	11,77	53,18	0,74	1,05	81,87	2,64
Agosto	2,15	12,51	54,51	0,75	1,05	92,64	3,09
Septiembre	2,24	11,94	53,50	0,75	1,05	94,78	3,16
Octubre	2,39	13,32	55,97	0,62	1,05	86,84	2,80
Noviembre	2,32	12,77	54,99	0,72	1,05	95,86	3,20
Diciembre	2,37	13,29	55,93	0,67	1,05	93,91	3,03

Anexo 6. Datos de precipitación efectiva mensual

Meses	Pm	Eto	Cp	Pe
	mm/mes	mm/mes		mm/mes
Enero	74,52	123,25	0,58	43,20
Febrero	100,29	108,54	0,45	45,31
Marzo	131,35	116,35	0,40	51,97
Abril	84,88	103,68	0,49	41,35
Mayo	64,37	93,69	0,54	34,77
Junio	45,60	88,85	0,63	28,77
Julio	32,12	94,36	0,76	24,32
Agosto	24,59	101,36	0,85	21,00
Septiembre	30,06	108,44	0,82	24,56
Octubre	56,20	142,97	0,71	40,10
Noviembre	64,61	99,00	0,56	35,92
Diciembre	92,42	101,61	0,46	42,17

Anexo 7. Requisitos de riego durante el año y medio de producción

Meses	ETc	Pe	RRC
	mm/día	mm/día	mm/día
Octubre	1,68	1,29	0,39
Noviembre	2,20	1,20	1,01
Diciembre	2,42	1,36	1,06
Enero	2,75	1,39	1,35
Febrero	3,07	1,62	1,45
Marzo	3,35	1,68	1,67
Abril	3,41	1,38	2,03
Mayo	3,39	1,12	2,27
Junio	3,09	0,96	2,13
Julio	3,17	0,78	2,38
Agosto	3,71	0,68	3,03
Septiembre	3,79	0,82	2,97
Octubre	3,36	1,29	2,07
Noviembre	3,58	1,20	2,38
Diciembre	3,48	1,36	2,12
Enero	3,17	1,39	1,78
Febrero	2,71	1,62	1,09
Marzo	2,45	1,68	0,77
Abril	2,10	1,38	0,72

Anexo 8. Cálculos correspondientes al diseño de riego por goteo para el cultivo de tomate de árbol

DISEÑO AGRONÓMICO

- **NECESIDADES NETAS**

La fórmula empleada para el cálculo de las necesidades netas, desarrollada por FAO, es la siguiente:

$$N_n = ET_c \times KL \times K_r \times K_a$$

Coefficiente corrector por localización (KL)

Primero se calcula la fracción del área sombreada = A

$$A = \frac{\pi \times \frac{D^2}{4}}{\text{marco de plantación}}$$

$$A = \frac{\pi \times \frac{(1,60 \text{ m})^2}{4}}{2\text{m} \times 2\text{m}}$$

$$A = 0,50$$

El valor de KL, se basa en cuatro formulas:

Aljiburi et, al $KL = 1,34 A \rightarrow 1,34 \times 0,50 = 0,67$

Decroix $KL = 0,1 + A \rightarrow 0,1 + 0,50 = 0,60$

Hoare et al $KL = A + 0,5 (1-A) \rightarrow 0,50 + 0,5(1 - 0,50) = 0,75$

Séller $KL = A + 0,15 (1-A) \rightarrow 0,50 + 0,15 (1 - 0,50) = 0,58$

Se eliminan los extremos: quedan los valores $\rightarrow 0,67$; $0,60$, a los cuales determino el promedio

$$KL = \frac{0,67 + 0,60}{2}$$

$$KL = 0,64$$

Coefficiente corrector por variación climática (K_r)

Adopta valores de 1,15 para aquellas zonas en las que el mes de máxima necesidad de agua $ET_o \leq 6,5 \text{ mm/día}$ y toma el valor de 1,20 para zonas en las que la $ET_o > 6,5 \text{ mm/día}$.

En este caso la ETo en el mes de máxima demanda es de 4,61 mm/día, por lo tanto

$$K_r = 1,15$$

Coefficiente corrector por advección (K_a)

Hay estudios que indican que K_a tiene una influencia poco considerable que se circunscribe sólo a los límites de la parcela a regar. Si no se desea prescindir de él en el cálculo, puede tomarse el valor de:

$K_a = 0,95$ en parcelas a regar que se encuentren en campos \geq a 50 ha

$K_a = 0,98$ en parcelas a regar que se encuentren en campos de riego $<$ a 50 ha y $>$ de 10

$K_a = 1$ en parcelas \leq a 10 ha.

Para el caso $K_a = 1$

Entonces:

$$N_n = ET_c \times KL \times K_r \times K_a$$

$$N_n = 3,03 \text{ mm/día} * 0,64 * 1,15 * 1$$

$$N_n = 2,20 \text{ mm/día}$$

A la $ET_c = 3,71$ mm/día se le resta el valor de la precipitación efectiva en el mes de mayor demanda hídrica (agosto). Quedando un valor de 3,03 mm/día.

NECESIDADES TOTALES DE RIEGO

$$N_t = \frac{N_n}{E_a * (1 - NL) * 0,90}$$

$$N_t = \frac{2,20 \text{ mm/día}}{0,85 * 0,90}$$

$$N_t = 2,87 \text{ mm/día}$$

NECESIDADES TOTALES UNITARIAS PARA CULTIVOS ARBÓREOS.

$$N_{tu} = N_t \times A \times C$$

$C =$ coeficiente que adopta el valor de 0.90 con distancias entre plantas iguales o inferiores a 4 m

$$N_{tu} = 2,87 \text{ l/m}^2/\text{día} \times 4\text{m}^2 \times 0,90$$

$$N_{tu} = 10,33 \text{ l/árbol/día}$$

DATOS TECNICOS DEL EMISOR SELECCIONADO

CAUDAL NOMINAL (L/H.)	RANGO DE PRESIÓN DE TRABAJO (BAR)	DIMENSIONES DE PASOS DE AGUA GROSOR-PROFUNDIDAD-LONGITUD (MM X MM X MM)	ÁREA DE FILTRACIÓN (MM²)	CONSTANTE K	EXPONENTE* X	CÓDIGO DE COLOR DE LA BASE
0.5	0.5 – 4.0	0.54 x 0.60 x 40	1.8	0.5	0	Mostaza
1.2	0.5 – 4.0	0.67 x 0.77 x 35	2.0	1.2	0	Café
2.0	0.5 – 4.0	1.03 x 0.75 x 35	2.0	2.0	0	Rojo
3.0	0.5 – 4.0	1.03 x 1.08 x 35	2.0	3.0	0	Azul
4.0	0.5 – 4.0	1.32 x 0.95 x 35	2.0	4.0	0	Gris
8.0	0.5 – 4.0	1.60 x 1.05 x 35	2.0	8.0	0	Verde
12.0	0.5 – 4.0	1.60 x 1.05 x 175	2.0	12.0	0	Fucsia

Gotero	Netafim PCJ
Caudal	4,0 l/h
Rango de presión	0,5 – 4,0 BAR
Díámetro	polietileno 14 mm

NÚMERO FINAL DE GOTEROS POR METRO CUADRADO

$$e_h = \frac{P \times S}{sme}$$

Primero se determina el valor de la superficie humedecida.

$$sme = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$sme = \frac{3,14 \times 0,72^2}{4}$$

$$sme = 0,40 \text{ m}^2$$

Entonces el número de goteros

$$e_h = \frac{0,45 \times 4}{0,40}$$

$$e_h = 4,5$$

- **Superficie mojada por emisor**

De acuerdo a la textura del suelo se utiliza la siguiente ecuación:

$$D = (0,3 + 0,12 \times q) \times 0,93$$

$$D = (0,3 + 0,12 \times 4) \times 0,93$$

$$D = 0,72 \text{ m}$$

- **Solape de bulbos húmedos**

Para el presente diseño se tomará un traslape de $S= 30 \%$

$$a = \frac{S \times r}{100}$$

$$a = \frac{30 \times 0,36}{100}$$

$$a = \mathbf{0,108 \text{ m}}$$

- **Distancia entre emisores**

$$D_e = r \left(2 - \frac{S}{100}\right)$$

$$D_e = 36 \left(2 - \frac{70}{100}\right)$$

$$D_e = \mathbf{50,04 \text{ cm}}$$

- **Número final de goteros por árbol**

$$e_f = \frac{SP}{D_c}$$

$$e_f = \frac{2m}{0,50 \text{ m}}$$

$$e_f = \mathbf{4 \text{ emisores}}$$

DURACIÓN DEL RIEGO

$$t_r = \frac{Nt \times l}{e_{hf} \times q}$$

$$t_r = \frac{10,33 \text{ lt/m}^2/\text{día} * 1 \text{ día}}{4 \text{ emisores/m}^2 * 4 \text{ l/h}}$$

$$t_r = \mathbf{0,64 \text{ h} = 38 \text{ min}}$$

CAUDALES NECESARIOS DEL SISTEMA

- **Caudal total**

$$Q_t = \frac{\left(\frac{S}{A}\right) \times q \times n}{3600}$$

$$Q_t = \frac{\left(\frac{615,50 \text{ m}^2}{4 \text{ m}^2}\right) \times 4 \text{ l/h} \times 4}{3600}$$

$$Q_t = 0,68 \text{ l/s} = 2,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

DISEÑO HIDRAULICO

Tolerancia de Presiones en la subunidad de riego

$$\Delta H_u \pm Z_l \pm Z_t \leq dp$$

Donde:

ΔH_u = Pérdida de carga en la unidad debida a la fricción del agua con tuberías y accesorios,
m

Z_l = Desnivel de la tubería lateral, m

Z_t = Desnivel de la tubería secundaria, m

Perdida de carga en la subunidad de riego

$$\Delta H_u = h_l + h_t$$

Donde:

h_l = pérdida de carga producida en el lateral

h_t = pérdida de carga producida en la tubería secundaria

Distribución de las pérdidas de presión en la unidad de riego

Montalvo (2005), propuso una expresión para determinar el reparto óptimo de presiones, R, en la unidad de riego en función de la separación de los laterales, s, y del coeficiente de forma de la unidad, CF, definido éste último como la relación entre las longitudes del lateral L_l , y la longitud de la tubería secundaria, L_t .

$$CF = \frac{L_l}{L_t}$$

El reparto óptimo, R, se define como la relación entre las pérdidas de presión en el lateral y las pérdidas en el total de la unidad de riego

$$R = \frac{h_l}{\Delta H_u}$$

Laterales alimentados por un punto extremo

$$R = \frac{0,776 CF^{0,1577}}{S^{0,060}}$$

Por consiguiente:

$$h_l = R \times \Delta H_u$$

Entonces:

$$CF = \frac{L_l}{L_t}$$

$$CF = \frac{23 \text{ m}}{27 \text{ m}}$$

$$CF = 0,85$$

$$R = \frac{0,776 CF^{0,1577}}{S^{0,060}}$$

$$R = \frac{0,776 \times 1,70^{0,1577}}{2^{0,060}}$$

$$R = 0,8 = 80 \%$$

El 80 % de las pérdidas máximas admisibles de la unidad de riego estarían asignados a los laterales y el 20% a la tubería secundaria.

Laterales: 8,0 mca

secundaria: 2,0 mca

DIMENSIONAMIENTO DE LATERALES

existe un rango de presión permitido, de 5 a 40 mca, por temas de seguridad, se usará un valor de 10 mca.

- **Perdidas Continuas (DI 10.2 mm, diámetro interno del lateral)**

Ramal F: Cota inicial 2712,60 – Cota final 2712,74

$$J = 0,473 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

$$J = 0,473 \frac{240^{1,75}}{10,2^{4,75}}$$

$$J = 0,11 \text{ m/m}$$

- **El coeficiente de reducción de Christiansen**

$$CR = \frac{1}{e + 1} + \frac{1}{2 \times n} + \frac{\sqrt{e - 1}}{6 \times n^2}$$

$$CR = \frac{1}{1,75 + 1} + \frac{1}{2 \times 11} + \frac{\sqrt{1,75 - 1}}{6 \times 11^2}$$

$$CR = 0,41$$

- **Longitud ficticia**

$$Le = 0,23 \frac{m}{gotosos} * 11 \text{ salidas}$$

$$Le = 2,53 \text{ m}$$

$$L_f = L + L_e$$

$$L_f = 23 + 2,53$$

$$L_f = 25,53 \text{ m}$$

- **Las pérdidas totales en el lateral F**

$$h_l = J \times CR \times L_f$$

$$h_l = 0,11 \times 0,41 \times 25,5$$

$$h_l = 1,15 \text{ mca}$$

$$1,15 \text{ mca} \leq 7,8 \text{ mca}$$

Diferencia de presiones

- **Presión a la entrada del lateral**

$$Po = Pn + 0,73hl$$

$$Po = 7 + 0,73 * 1,15$$

$$Po = 7,84 \text{ m}$$

- **Presión al final del lateral**

$$Pu = Pn - 0,27hl$$

$$Pu = 7 - 0,27 * 1,15$$

$$Pu = 6,89 \text{ m}$$

- **Caudal del lateral**

$$Ql = 1,2 * Ne * Qe = 1,2 * \left[\frac{Ll}{Se} + 1 \right] * Qe * n$$

$$Ql = 1,2 * \left[\frac{23}{2} + 1 \right] * 4 * 4$$

$$Ql = 240 \text{ l/h}$$

$$Ql = 0.00006667 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Cálculo de la velocidad**

$$A = 3,1416 * \left(\frac{10,2\text{mm}}{2} \right)^2$$

$$A = 0,00008171 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0,00006667\text{m}^3/\text{s}}{0,00008171\text{m}^2}$$

$$V = 0,82\text{m/s}$$

DIMENSIONAMIENTO DE LAS TUBERÍAS SECUNDARIAS

- **Caudal en el origen**

Es igual al número de laterales conectados a la tubería secundaria por el caudal de un lateral o en el caso de unidades irregulares la suma de caudales de todos los laterales.

Sub unidad 1

Np: 153 plantas

Q_{planta} = 16 l/h

$$Q_t = Q_{planta} * Np$$

$$Q_t = 16 * 153$$

$$Q_t = 2448 \text{ l/h}$$

$$Q_t = 2,45 \text{ m}^3/\text{h}$$

Sub unidad 2

Np: 139 plantas

Q_{planta} = 16 l/h

$$Q_t = 16 \times 139$$

$$Q_t = 2224 \text{ l/h}$$

$$Q_t = 2,22 \text{ m}^3/\text{h}$$

- **Longitud Ficticia**

$$L_f = L * 1,1$$

Primero se determina el valor L, mediante la siguiente ecuación:

$$L = S_0 + S (n - 1)$$

$$L = 0,30m + 2m (15 - 1)$$

$$L = 28,30$$

Longitud ficticia

$$L_f = 28,30 \times 1,1$$

$$L_f = 31 \text{ m}$$

- **Factor de Christiansen:**

En primera instancia se calcula el coeficiente de reducción de Christiansen:

$$CR = \frac{1}{e + 1} + \frac{1}{2 * n} + \frac{\sqrt{e - 1}}{6 * n^2}$$

$$CR = \frac{1}{1,80 + 1} + \frac{1}{2 * 15} + \frac{\sqrt{1,80 - 1}}{6 * 15^2}$$

$$CR = 0,39$$

Debido a que el primer lateral está a una distancia diferente, es necesario hacer una corrección en CR

$$Fr = \frac{r + n * CR - 1}{r + n - 1}$$

$$Fr = \frac{0,30 + 15 * 0,39 - 1}{0,30 + 15 - 1}$$

$$Fr = 0,36$$

- **Cálculo del Diámetro**

El diámetro de la tubería secundaria se obtendrá mediante la fórmula de Hazen:

$$D = \left(\frac{10,67 * C^{-1,85} * Q^{1,85} * Fr * L_f}{h_t} \right)^{1/4,87}$$

$$D = \left(\frac{10,67 * 150^{-1,85} * 0,00068^{1,85} * 0,36 * 31}{2,20} \right)^{1/4,87}$$

$$D = 0,021m = 21mm$$

- **Elección del diámetro comercial**

Se seleccionará una tubería con diámetro comercialmente de 25 mm y diámetro interno de 21 mm, además cuenta con una presión de trabajo de 1 MPa, suficiente para soportar la presión de trabajo del sistema de riego.

- **Pérdidas Continuas**

Están dadas por la siguiente formula:

$$J = 10,67 * C^{-1,85} * Q^{1,85} * D^{-4,87}$$

$$J = 10,67 * 150^{-1,85} * 0,00068^{1,85} * 0,021^{-4,87}$$

$$J = 0.21 mca$$

- **Pérdidas Totales**

Las pérdidas totales de la secundaria se calculan con la ecuación a continuación

$$h_t = J * Fr * L_f$$

$$h_t = 0,21 * 0,36 * 31$$

$$h_t = 2,34 mca$$

- **Presión en el origen de la secundaria**

$$P_o = P_l + h_t \pm \Delta Z$$

Donde:

P_o = Presión en el origen de la secundaria en m, P_l = presión en la entrada del lateral, mca; h_t = pérdidas en la secundaria, mca; $\pm \Delta Z$ = Desnivel de la secundaria (signo según sea ascendente o descendente).

$$P_o = 7,84 + 2,34 - 3,00$$

$$P_o = 7,18 \text{ mca}$$

Condición:

$$P_{\text{máx}} - P_{\text{min}} \leq dp$$

$$5,04 - 4,60 \leq 7,18$$

$$0,44 \leq 7,18$$

- **Cálculo de la velocidad:**

$$A = 3,1416 * \left(\frac{21 \text{ mm}}{2} \right)^2$$

$$A = 0,000346 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0,00068 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000346 \text{ m}^2}$$

$$V = 1,96 \text{ m/s}$$

Anexo 9. Costo total de instalación

RUBRO	CANT	U	PRECIO	TOTAL
Conducción Principal				
Panel solar JA Solar 410W Mono PERC Half Cell - JAM72S10-410/PR, dimensionamiento 2015 x 996 x 40 mm.	1	U	199.85	199.85
Bomba AL-REDm 600-4 con una potencia de 0.5 HP	1	U	360	360
Tubo PVC 40mm-6m E/C	40	U	7.42	296.8
Válvulas y Accesorios-Conducción				
Tubo PVC-P E/C 40 mm	10	U	7.42	74.2
Codo PVC 40mm EC X 45°	2	U	0.47	0.94
Neplo PVC 40mm	2	U	0.57	1.14
Tapón roscable de 40mm	2	U	0.35	0.7
Adaptador PVC M de 40mm x 1 1/4	2	U	0.88	1.76
Válvula de purga 40mm	1	U	33.77	33.77
Cabezal de Riego				
Codo PVC 40mm EC x 90°	7	U	0.47	3.29
Neplo PVC 40mm	4	U	0.57	2.28
Válvula de bola PVC-P DE 40mm	5	U	2.9	14.5
Reductor de 50mm a 40mm	4	U	1.55	6.2
Neplo de PVC 50mm	6	U	1.3	7.8
Adaptador hembra C/R -EC de 40mm x 1 1/2"	2	U	0.88	1.76
Filtro de anillas de 1 1/2" rosca macho	1	U	10	10
Tee PVC 40mm	3	U	3	9
Neplo PVC 32mm	2	U	0.57	1.14
Adaptador hembra de C/R-EC de 32mm x 1"	2	U	1.45	2.9
Venturi rosca macho de 1" + kit succión	1	U	125	125
Laterales de Riego				
Empaque de 12mm + conector inicial de 12mm	28	U	0.13	3.64
Manguera ciega de 12mm	1200	m	0.28	336
Gotero insertable Netafim 4l/h	300	U	0.18	54
Fin de lines de goteo de 12mm	28	U	0.06	1.68
Valores				
Desbroce y limpieza	1	ha	85	85
Excavación a máquina	120	m ³	2	240
Excavación y relleno sin compactar	120	m ³	1	120
TOTAL CON IVA				1993.35

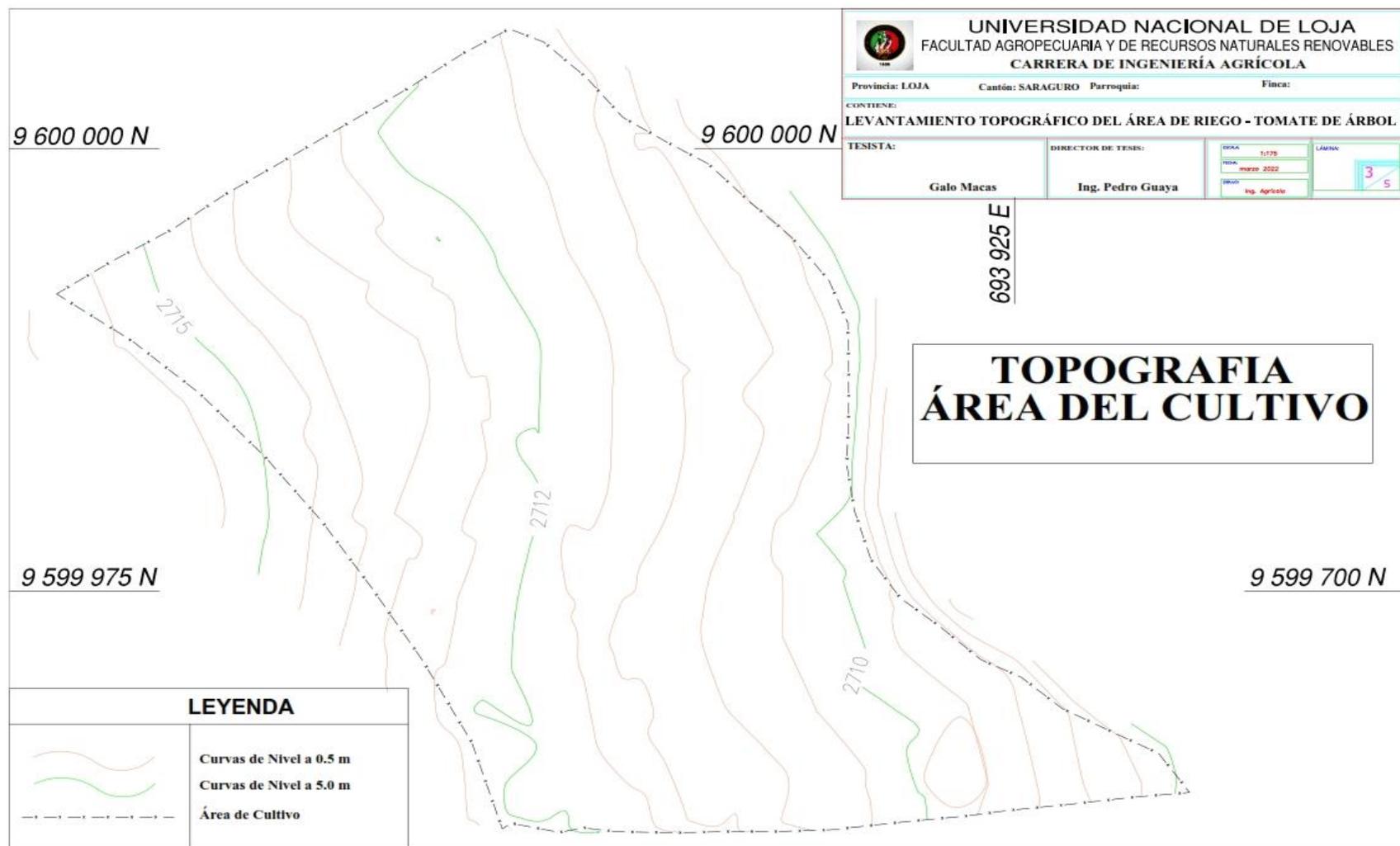
PRESUPUESTO DEL DISEÑO	
CONCEPTO	VALOR TOTAL
A. SUELDOS	
A1. PERSONAL TECNICO	300
A2. PERSONA AUXILIAR	40
B. VIAJES Y VIATICOS	
	60
C. SERVICIOS	
	30
D. ARRENDAMIENTOS	
	0
E. EQUIPOS E INTALACIONES	
	100
F. SUMINISTROS	
	10
TOTAL	540

TOTAL FINAL	2533.35
--------------------	----------------

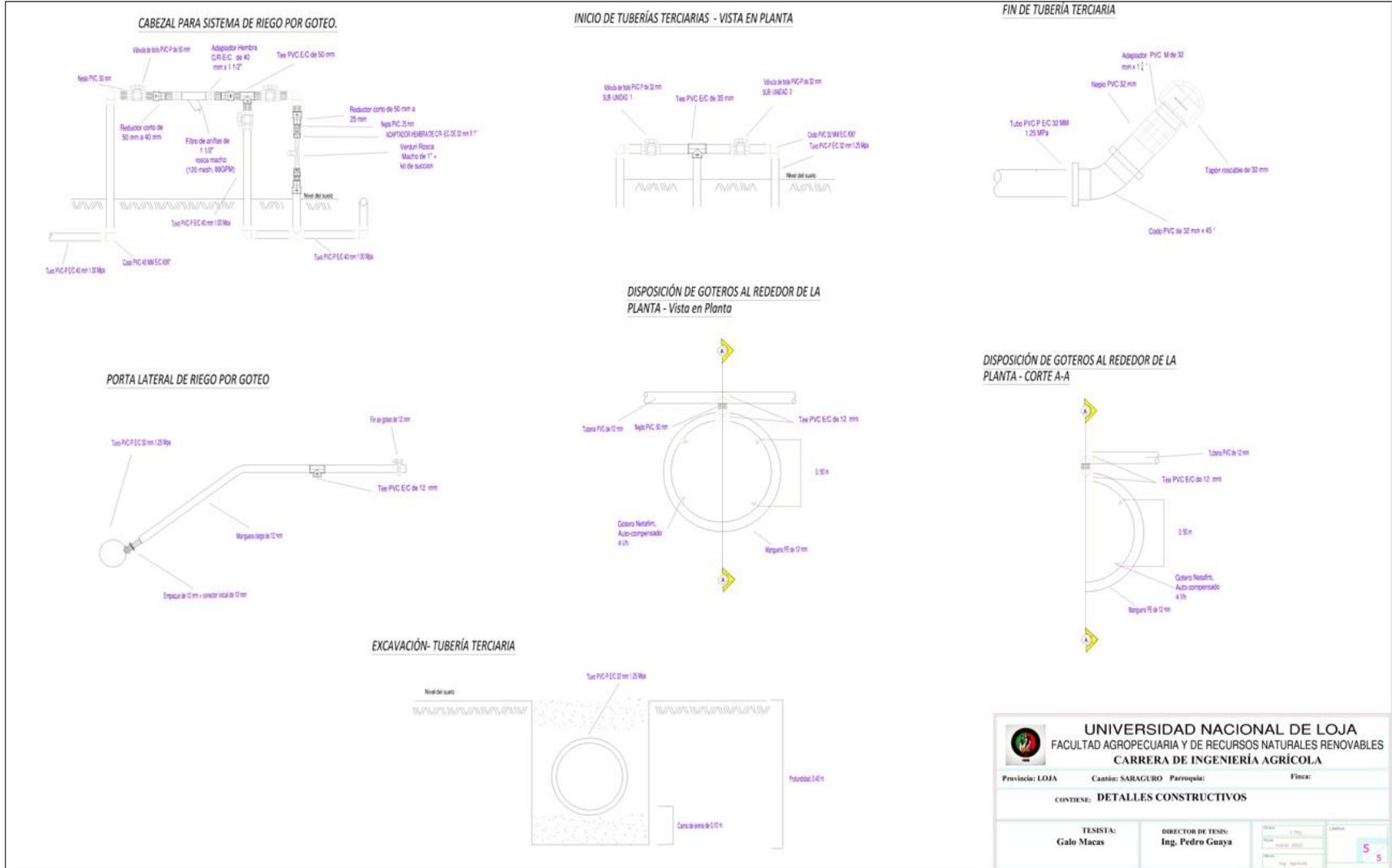
Anexo 10. Perfil de elevación de la línea principal de conducción



Anexo 11. Topografía del área de cultivo



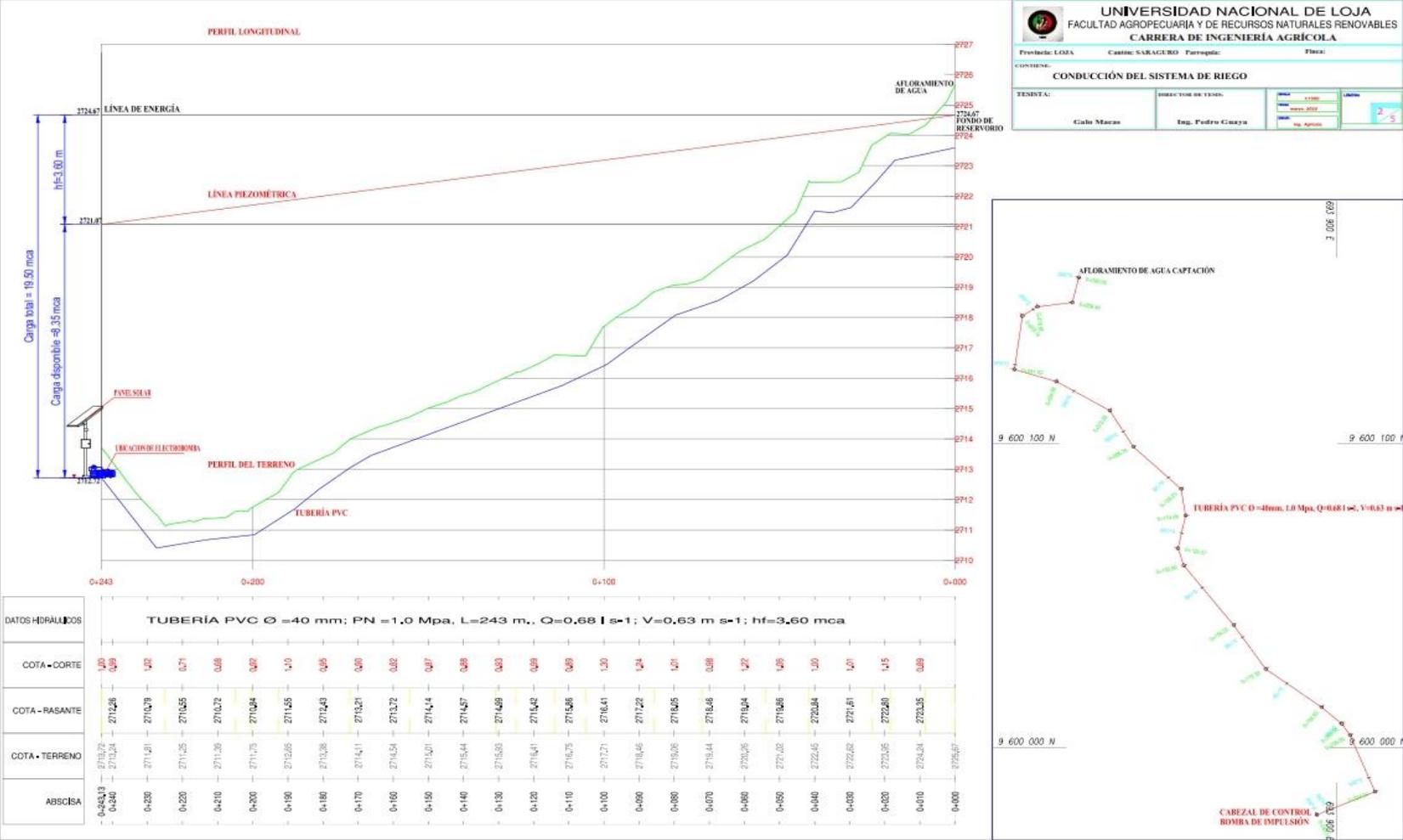
Anexo 12. Detalles constructivos



Anexo 13. Fotografías salidas de campo



Anexo 14. Detalle del panel solar, bomba y cabezal de riego

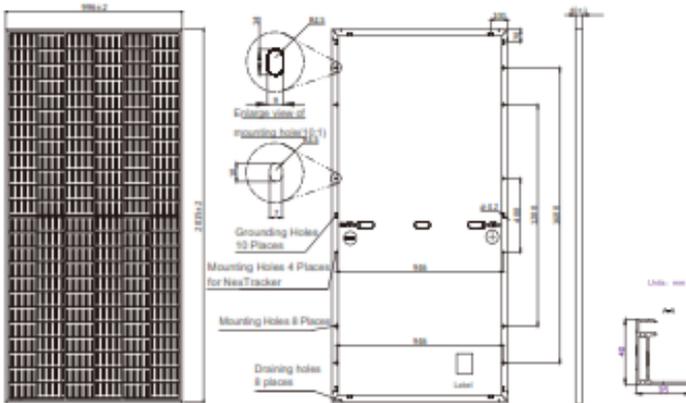


Anexo 15. Especificaciones del panel solar



JAM72S10 390-410/MR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	22.7kg±3%
Dimensions	2015±2mm×996±2mm×40±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ²
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10-35
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	27 Per Pallet

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S10 -390/MR	JAM72S10 -395/MR	JAM72S10 -400/MR	JAM72S10 -405/MR	JAM72S10 -410/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	390	395	400	405	410
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.01	49.30	49.58	49.86	50.12
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	40.71	41.02	41.33	41.60	41.88
Short Circuit Current(Isc) [A]	10.23	10.28	10.33	10.39	10.45
Maximum Power Current(Imp) [A]	9.58	9.63	9.68	9.74	9.79
Module Efficiency [%]	19.4	19.7	19.9	20.2	20.4
Power Tolerance	0~+5W				
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.044%/°C				
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.272%/°C				
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.350%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G				

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.
*For NexTracker installations static loading performance: front load measures 2400Pa, while back load measures 2400Pa.

OPERATING CONDITIONS

Maximum System Voltage	1000V/1500V DC(IEC)
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse	20A
Maximum Static Load,Front*	5400Pa
Maximum Static Load,Back*	2400Pa
NOCT	45±2°C
Application Class	Class A

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

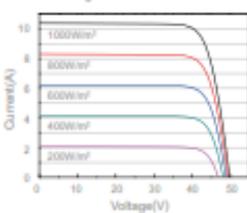
TYPE	JAM72S10 -390/MR	JAM72S10 -395/MR	JAM72S10 -400/MR	JAM72S10 -405/MR	JAM72S10 -410/MR
Rated Max Power(Pmax) [W]	294	298	302	306	310
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	45.90	46.15	46.41	46.66	46.91
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.15	38.40	38.65	38.90	39.16
Short Circuit Current(Isc) [A]	8.15	8.20	8.25	8.31	8.36
Max Power Current(Imp) [A]	7.71	7.76	7.81	7.87	7.92
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G				

OPERATING CONDITIONS

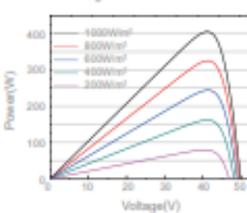
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC(IEC)
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse	20A
Maximum Static Load,Front*	5400Pa
Maximum Static Load,Back*	2400Pa
NOCT	45±2°C
Application Class	Class A

CHARACTERISTICS

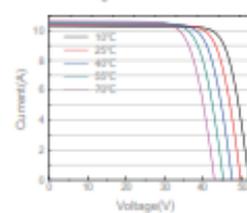
Current-Voltage Curve JAM72S10-405/MR



Power-Voltage Curve JAM72S10-405/MR



Current-Voltage Curve JAM72S10-405/MR



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20190919A

Anexo16. Certificado de traducción del resumen.

Loja, 14 de mayo de 2024

CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN

Doctora.

Erika Lucía González Carrión, Ph.D.

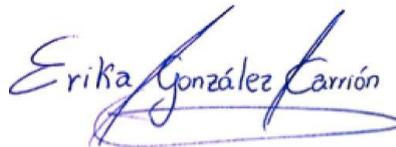
Docente de la Facultad de la Educación, el Arte y la Comunicación de la Universidad Nacional de Loja

CERTIFICO:

En mi calidad de traductora del idioma Inglés, con capacidades que pueden ser probadas a través de las traducciones realizadas para revistas de alto impacto como: Comunicar(Q1): <https://bit.ly/3v0JggL> así como a través de la Certificación de conocimiento del Inglés, nivel B2, que la traducción del Resumen (Abstract) del Trabajo de Titulación denominado: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA UN CULTIVO DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum*) PARA LA FINCA “MARÍA AUXILIADORA” DEL SECTOR TRONCOPAMBA, PARROQUIA Y CANTÓN SARAGURO, PROVINCIA DE LOJA”**; de la autoría de la señor estudiante: Galo Michael Macas Parra, con CI: 1105353047, es correcta y completa, según las normas internacionales de traducción de textos.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, señor **Galo Michael Macas Parra**, hacer uso legal del presente, según estime conveniente.

Atentamente,



Dra. Erika González Carrión. PhD.

Docente de la Facultad de la Educación, el Arte y la Comunicación
Universidad Nacional de Loja