



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Evaluación de la eficiencia de un sistema de riego por aspersión instalado en la finca los manzanos, barrio Saucesito, parroquia Mangahurco, cantón Zapotillo.

Trabajo de Integración Curricular previo
al título de Ingeniero Agrícola.

AUTOR:

Deivar Ariel Romero Rueda

DIRECTOR:

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo. Mg.Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 18 de agosto de 2022

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg.Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de la eficiencia de un sistema de riego por aspersión instalado en la finca los manzanos, barrio Saucesito, parroquia Mangahurco, cantón Zapotillo**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de autoría del estudiante **Deivar Ariel Romero Rueda**, con cédula de identidad Nro. **1150276978**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo su presentación del mismo para su respetiva sustentación y defensa.



Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg.Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Deivar Ariel Romero Rueda**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular 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 Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de identidad: 1150276978

Fecha: 01/06/2023

Correo electrónico: deivar.romero@unl.edu.ec

Teléfono domicilio: 07 3100429

Teléfono celular: 0985723311

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

Yo, **Deivar Ariel Romero Rueda** declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de la eficiencia de un sistema de riego por aspersión instalado en la finca los manzanos, barrio Saucesito, parroquia Mangahurco, cantón Zapotillo**, como requisito para optar 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 de la siguiente manera en el Repositorio Digital 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 Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, al primer día del mes de junio de dos mil veintitrés



Firma:

Autor: Deivar Ariel Romero Rueda

Cédula de identidad: 1150276978

Dirección: Barrio Saucesito, parroquia Mangahurco, cantón Zapotillo, provincia de Loja

Correo electrónico: deivar.romero@unl.edu.ec

Teléfono domicilio: 07 3100429

Teléfono celular: 0985723311

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg.SC.

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado principalmente a Dios, por ser el divino creador de la vida, y por darme la sabiduría para poder concluir con una de mis metas propuestas.

A mis amados abuelos paternos que partieron hacía la eternidad, quienes fueron el motor principal en mi vida, gracias por inculcar en mí la humildad, respeto, valentía y responsabilidad para enfrentar los obstáculos del diario vivir, quienes donde quiera que se encuentren estarán aplaudiendo y sonriendo de alegría al ver que su nieto se convierte en un profesional, Fidencio, Emérita, esto es para ustedes.

A mis queridos padres Daniel Romero y Carmen Rueda, por su amor infinito, por su apoyo y consejos que no dejaban que me amilanara ante los resbalones de la vida, por aquel arduo sacrificio que permite concluir una de mis metas más deseadas.

A mis hermanos Brayan y Thiago, que son mi inspiración para seguir adelante, de igual manera a mis abuelos maternos que quienes siempre estuvieron para mí dándome aliento para que no desmaye, a mis tío paternos y maternos, a mis amigos que estuvieron conmigo durante toda mi formación académica.

De manera muy especial para mis tíos, Francisco y Nancy, quienes se convirtieron en mis segundos padres y estuvieron ahí conmigo con un consejo o una palabra llena de entusiasmo que me daba fuerza para continuar.

Deivar Ariel Romero Rueda

Agradecimiento

Mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y de manera especial a la carrera de Ingeniería Agrícola, a su personal docente por impartir sus conocimientos durante mi formación profesional.

Así mismo mi agradecimiento para con el Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo, director de mi trabajo de integración curricular, quien con su conocimiento y orientación desde el inicio hasta el final hizo que el presente trabajo se realizara adecuadamente.

De igual forma, agradezco a mis familiares y amigos por su apoyo y confianza, y a todas las personas que estuvieron siempre leales conmigo durante toda mi carrera profesional.

Deívar Ariel Romero Rueda

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos.....	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	7
4.1. Definición de riego.....	7
4.2. Diferencia entre sistema de riego y métodos de Riego	7
4.2.1. Riego por superficie o por gravedad	7
4.2.2. Riego presurizado.....	8
4.2.2.1. Ventajas del riego presurizado.	9
4.3. Riego por goteo	9
4.4. Riego por aspersión.....	9
4.4.1. Ventajas y desventajas.....	10
4.4.2. Tipos de sistemas de riego por aspersión	10
4.4.2.1. Estacionarios	10
4.4.2.2. Automecanizados	11
4.5. Componentes de un sistema de riego por aspersión.....	11
4.5.1. Fuente de agua.....	11
4.5.2. Fuente de energía.....	12
4.5.3. Red de distribución.....	12
4.5.4. Red de aplicación o aspersores.....	12
4.5.5. Accesorios	12
4.6. Eficiencia de riego.....	13
4.7. Evaluación de los sistemas de riego por aspersión.....	13
4.7.1. Eficiencia de los sistemas de riego por aspersión	13
4.8. Presión.....	16
4.8.1. Presión en los sistemas de riego por aspersión.....	16
4.9. El suelo en los sistemas de riego	16
4.9.1. Textura	17
4.9.2. Estructura	17
4.9.3. Densidad Aparente	17
4.9.4. Punto de marchitez permanente	18

4.9.5. Capacidad de campo.....	18
4.10. Velocidad de infiltración.....	18
4.11. Caudal	20
5. Metodología.....	21
5.1. Ubicación del lugar	21
5.2. Materiales	21
5.2.1. Materiales de campo.....	21
5.2.2. Materiales de laboratorio y equipos	21
5.2.3. Recursos tecnológicos	22
5.3. Metodología.....	22
5.3.1. Metodología para el primer objetivo	22
5.3.2. Metodología para el segundo objetivo	22
5.3.3. Metodología para el tercer objetivo.....	25
5.3.3.1. Constantes hidrofísicas del suelo	25
5.3.3.2. Diseño agronómico.....	27
5.3.3.3. Diseño Hidráulico.....	28
6. Resultados.....	30
6.1. Resultados para el primer objetivo	30
6.2. Resultados para el segundo objetivo	33
6.2.1. Eficiencia del sistema de riego por aspersión	33
6.2.2. Coeficiente de uniformidad de la zona evaluada.....	34
6.2.3. Coeficiente de uniformidad	34
6.3. Resultados para el tercer objetivo	35
6.3.1. Plan de operación y mantenimiento para el sistema de riego por aspersión de la finca “Los Manzanos”	35
6.3.1.1. Antecedentes.....	35
6.3.1.2. Operación	35
6.3.1.3. Mantenimiento.....	36
6.4. Propuesta de mejoramiento del sistema de riego por aspersión.....	37
6.4.1. Rediseño del sistema de riego por aspersión.....	38
6.4.1.1. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo	38
6.4.1.2. Curva de retención de humedad del suelo	38
6.4.1.3. Evaluación de las condiciones físicas del suelo	38
6.4.1.4. Velocidad de infiltración	39
6.4.2. Diseño Agronómico para el riego por aspersión.....	39
6.4.2.1. Necesidades hídricas del cultivo	39
6.4.2.2. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET _o).....	39
6.4.2.3. Coeficiente del cultivo (K _c)	40
6.4.2.4. Evapotranspiración del cultivo (ET _c).....	40
6.4.2.5. Precipitación efectiva	41
6.4.2.6. Requerimiento de riego para el cultivo de maíz.....	41
6.4.2.7. Selección del emisor a utilizar.....	42
6.4.2.8. Datos del suelo para el rediseño	43
6.4.2.9. Cálculos del diseño agronómico.....	43

6.4.3. Diseño hidráulico	44
6.4.3.1. Diseño de la tubería lateral y secundaria de riego	44
6.4.3.2. Diseño de la tubería principal.....	46
6.5. Costos del sistema de riego	46
7. Discusión.....	48
7.1. Caracterizar el sistema de riego por aspersión del barrio sauecito finca los manzanos.....	48
7.2. Determinar la eficiencia y uniformidad del sistema de riego bajo el manejo actual que realiza el agricultor.....	49
7.3. Realizar un plan de operación y mantenimiento para alcanzar la mayor eficiencia del sistema de riego.....	50
8. Conclusiones.....	51
9. Recomendaciones	52
10. Bibliografía	53
11. Anexos	58

Índice de tablas

Tabla 1.	Eficiencia de aplicación del agua según el método utilizado	13
Tabla 2.	Calificación del coeficiente de uniformidad (CU).....	16
Tabla 3.	Valores de densidad aparente en relación a la textura del suelo.....	18
Tabla 4.	Clasificación de la VIB.....	19
Tabla 5.	Componentes del sistema de riego.....	30
Tabla 6.	Eficiencia del sistema de riego	33
Tabla 7.	Coeficiente de la uniformidad de la zona (CUz)	34
Tabla 8.	Coeficiente de uniformidad.....	34
Tabla 9.	Evapotranspiración de referencia (ET _o)	40
Tabla 10.	Evapotranspiración del cultivo de maíz.....	41
Tabla 11.	Precipitación efectiva.....	41
Tabla 12.	Requerimientos de riego para el cultivo de maíz.....	42
Tabla 13.	Características del emisor seleccionado.....	43
Tabla 14.	Características hidrofísicas del suelo	43
Tabla 15.	Resultados del diseño agronómico.....	43
Tabla 16.	Módulo de riego 1	45
Tabla 17.	Módulo de riego 2.....	45
Tabla 18.	Diseño de la tubería principal.	46
Tabla 19.	Presupuesto para el sistema de riego por aspersión.	46

Índice de figuras

Figura 1. Triángulo textural de la USDA	17
Figura 2. Ubicación de la zona de estudio	21
Figura 3. Curva de retención de humedad del suelo.....	38
Figura 4. Relación de la clase textural y la proporción de la fracción de suelo	39
Figura 5. Coeficiente del cultivo de maíz (Kc).....	40

Índice de anexos

Anexo 1. Plano de la finca los Manzanos.....	58
Anexo 2. Levantamiento del sistema de riego y de la finca.	59
Anexo 3. Topografía del terreno.....	60
Anexo 4. Topografía y diseño de riego	61
Anexo 5. Evaluación de Uniformidad y Distribución de riego.	62
Anexo 6. Datos de la Uniformidad de Riego.....	62
Anexo 7. Cálculo de la eficiencia del sistema de riego.	63
Anexo 8. Prueba de infiltración.	64
Anexo 9. Datos de la prueba de infiltración.	64
Anexo 10. Velocidad de infiltración en la finca.	65
Anexo 11. Determinación de Textura.....	66
Anexo 12. Cálculo de textura	67
Anexo 13. Cálculos del diseño agronómico.	67
Anexo 14. Cálculos del diseño hidráulico.	73
Anexo 15. Subunidades de riego rediseño.....	76
Anexo 16. Plano del rediseño de riego.	77
Anexo 17. Perfil hidráulico de la conducción principal.	78
Anexo 18. Detalles constructivos del rediseño de riego.....	79
Anexo 19. Certificado de traducción.	80

1. Título

Evaluación de la eficiencia de un sistema de riego por aspersión instalado en la finca los manzanos, barrio Saucesito, parroquia Mangahurco, cantón Zapotillo.

2. Resumen

En la finca “Los Manzanos” del barrio Saucesito perteneciente a la parroquia Mangahurco, cantón Zapotillo, provincia Loja se realizó la evaluación de la eficiencia y uniformidad del sistema de riego por aspersión, mismo que cuenta con 0,8 ha. Con la finalidad de evidenciar y analizar la situación actual de dicho sistema de riego, debido a que los agricultores de esta zona han observado que este tipo de riego no les ha resultado beneficioso para el desarrollo de sus cultivos y para con ello poder ayudar y contribuir a las mejoras necesarias de este.

La metodología a seguir fue primero de realizar una inspección de cada uno de los componentes del sistema de riego para posterior a ello seguir con el levantamiento topográfico que determina la superficie de riego y longitudes de las redes de conducción y distribución, seguidamente se realizó la medición de caudales con ayuda del caudalímetro para poder determinar la eficiencia del sistema de riego, en cuanto a la uniformidad de distribución se realizó recogiendo caudales de los emisores y midiendo la presión con un manómetro de glicerina, de igual forma se realiza un manual de operación y mantenimiento para que el agricultor tenga un manejo adecuado del riego y por ende, mejore el rendimiento de su cultivo. Dando como resultado, que el sistema se encuentra en mal estado, se pudo determinar que existían averías en las tuberías. En cuanto a la uniformidad de aplicación del agua es muy baja, del 34,72 %, lo que, no alcanza los estándares de uniformidad, de la misma manera, repercute por lo tanto en la eficiencia, con un 27,39 %, estos valores obtenidos serían los causantes de la bajo rendimiento, debido a que la falta de agua es perjudicial para el desarrollo de los cultivos. De acuerdo a los resultados se realizó una propuesta de rediseño con fines de mejoramiento del sistema, considerando, entre otros parámetros, a la dirección a de la pendiente del terreno, factor fundamental para considerar en la evaluación.

Llegando a la conclusión que se puede mejorar el sistema de riego hasta un 75 % la uniformidad que estaría dentro de los parámetros requeridos, por lo que el costo de rediseño es de 3 401,92 dólares.

Palabras claves: Uniformidad de riego, evaluación de sistema de riego, riego por aspersión, manejo de riego.

2.1. Abstract

In the "Los Manzanos" farm of the Saucesito neighborhood belonging to the Mangahurco parish, Zapotillo canton, Loja province, the evaluation of the same efficiency and uniformity of the sprinkler irrigation system that has 0.8 ha was carried out. In order to demonstrate and analyze the current situation of said irrigation system, because farmers in this area have observed that this type of irrigation has not been improved for the development of their crops and in order to help and contribute. to the necessary improvements of this.

The methodology to follow was first to carry out an inspection of each one of the components of the irrigation system and then continue with the topographic survey that determines the irrigation surface and lengths of the conduction and distribution networks, then the measurement was carried out. of flows with the help of the flowmeter to be able to determine the efficiency of the irrigation system, in terms of distribution uniformity, it was carried out by collecting the flows of the emitters and measuring the pressure with a glycerin manometer, in the same way a manual is made of operation and maintenance so that the farmer has an adequate management of irrigation and therefore, improves the yield of his crop. As a result, that the system is in poor condition, it was possible to determine that there were failures in the pipes. Regarding the uniformity of water application, it is very low, 34,72 %, which does not reach the uniformity standards, in the same way, therefore it affects efficiency, with 27,39 %, these values obtained will be the cause of low yield, since the lack of water is detrimental to the development of crops. According to the results, a redesign proposal was made with the purpose of improving the system, considering, among other parameters, the direction of the slope of the land, a fundamental factor to be considered in the evaluation.

Coming to the conclusion that the irrigation system can be improved by up to 75% the uniformity that would be within the required parameters, for which the cost of the redesign is \$3,401.92.

Keywords: Irrigation uniformity, irrigation system evaluation, sprinkler irrigation, irrigation management.

3. Introducción

Arroyo (2017) manifiesta que a nivel mundial existen 325.1 millones de hectáreas que se destinan al riego, de tal modo se estima que el 70 % del agua es utilizada en la agricultura. De la superficie regada, el 94% se riega por aspersión, mientras que solo el 6 % se riega por goteo. Se estima que la eficiencia de riego a nivel mundial sería del 56 %.

El riego es una actividad fundamental para el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria de los países. Según la Secretaría del Agua (2019), el Ecuador cuenta con una infraestructura de riego que abarca alrededor de 1,5 millones de hectáreas, de las cuales solo se riegan efectivamente unas 977 mil hectáreas. Esto se debe a que la mayoría de los sistemas de riego son tradicionales, con baja eficiencia y limitada capacidad de almacenamiento de agua. Por esta razón, el gobierno ha impulsado proyectos de riego tecnificado, que consisten en el uso de aspersores, micro aspersores y goteo, para mejorar la productividad y la sostenibilidad de los cultivos. Estos sistemas permiten ahorrar agua, mano de obra y fertilizantes, así como aumentar los ingresos de los pequeños y medianos productores. Algunos ejemplos exitosos de riego tecnificado se han implementado en las provincias de Manabí, Loja, Azuay y Chimborazo, entre otras.

El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Loja [PDyOT-Loja] (2019), manifiesta que, en la provincia, el riego es primordial para el desarrollo agrícola y la producción de alimentos. Según datos disponibles, existen diferentes tipos de sistemas de riego que abarcan una superficie regable de 37 206,03 hectáreas. Estos sistemas se clasifican según la gestión y el financiamiento de estos en públicos no transferidos, públicos transferidos y comunitarios. Los sistemas públicos no transferidos son aquellos que están bajo la administración del Estado y cubren una superficie de 10 836,75 hectáreas. Los sistemas públicos transferidos son aquellos que han sido entregados a las organizaciones de usuarios para su operación y mantenimiento y ocupan una superficie de 6 164,28 hectáreas. Finalmente, los sistemas comunitarios son aquellos que han sido construidos y gestionados por las propias comunidades y abarcan una superficie de 20 205 hectáreas. Estos últimos representan el mayor porcentaje de la superficie regable y el principal aporte a la seguridad y soberanía alimentaria de la provincia.

El cantón Zapotillo es una zona de gran importancia para el desarrollo agrícola del país, por su clima y extensa superficie se producen diversos cultivos de interés comercial local como internacional. Según los datos del censo agropecuario del 2010, el cantón tiene un total de 10 683.83 hectáreas de tierra agrícola, lo que representa el 11,8 % de su territorio. Sin embargo,

no toda esta superficie se aprovecha de la misma manera, pues solo el 27,62 % de la tierra agrícola cuenta con sistemas de riego, que ha permitido mejorar la productividad y la calidad de los productos. El resto depende de las precipitaciones y de la disponibilidad de agua de afluentes. Por otro lado, el cantón Zapotillo también se caracteriza por ser una reserva Biósfera de bosque seco, por lo que gran parte de su territorio es reserva natural, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad y los recursos hídricos. Esta situación implica que la actividad agrícola se debe realizar con criterios de sostenibilidad ambiental y social, respetando las áreas protegidas y buscando el equilibrio entre la producción y la preservación [PDyOT-Zapotillo], (2019).

En la parroquia Mangahurco, perteneciente al cantón Zapotillo, se ha venido implementando el riego por aspersión, beneficiando a algunos agricultores que han accedido al programa buen vivir rural, el cual les ha brindado apoyo financiero para implementar este sistema. El objetivo de este programa es mejorar la calidad de vida de los habitantes de la parroquia, que se enfrentan a situaciones de pobreza. Sin embargo, la mayoría de los agricultores aún utilizan el riego por gravedad, esto se debe a que aún no han sido capacitados en su mayoría de las desventajas que tiene el uso de este método de riego.

Uno de los problemas que los agricultores no acceden al riego por aspersión, es que se sienten insatisfechos, esto debido a que sus cultivos no rinden como ellos desean. La baja eficiencia del riego por aspersión, posiblemente sea por la baja uniformidad de la aplicación del agua en la parcela, además, que provoca, por una parte, mucho encharcamiento en las zonas de baja pendiente y, por otra parte, en las laderas, el agua provoca escorrentía, dejando el suelo desnudo por la erosión producida. Por tal motivo fue de interés realizar la investigación en un sistema de riego ubicado en la finca los Manzanos del sector Saucecito, para evaluar la eficiencia de riego y formular una propuesta de mejora en la operación y mantenimiento.

Razón por la cual y para dar cumplimiento con el trabajo de integración curricular se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Caracterizar y evaluar el riego por aspersión de la finca los manzanos en el barrio Saucecito de la parroquia Mangahurco, para generar una propuesta que ayude a mejorar su operación y mantenimiento.

Objetivos específicos

- Caracterizar el sistema de riego por aspersión instalado en la finca los manzanos barrio Saucecito

- Determinar la eficiencia y uniformidad del sistema de riego bajo el manejo actual que realiza el agricultor.
- Realizar un plan de operación y mantenimiento para alcanzar la mayor eficiencia del sistema de riego.

4. Marco Teórico

4.1. Definición de riego

Según Demin (2014) el riego es la reposición de agua al suelo que es consumida por las plantas, para que estas puedan crecer y desarrollarse; de tal manera que, el agua esté disponible para las mismas. El riego deberá ser lo más eficiente posible, es decir, hay que reducir pérdida de agua para que los cultivos se desarrollen de mejor manera.

Esto está en concordancia con Pérez-Leira et al. (2019), quienes, mediante un estudio realizado en cuanto al régimen de riego de los cultivos permanentes, destacan la importancia que tiene el riego. Cuando se proporciona de manera óptima, se obtienen excelentes resultados en términos de rendimiento de cultivos y aprovechamiento de agua.

4.2. Diferencia entre sistema de riego y métodos de Riego

El sistema de riego es la infraestructura y el conjunto global de elementos utilizados para suministrar agua a los cultivos, incluyendo las fuentes de agua, las tuberías, los dispositivos de control y distribución. Mientras que método de riego es aquel conjunto de estructuras, o las técnicas específicas utilizadas dentro de ese sistema para suministrar agua a los cultivos, es decir la forma como se aplica agua en las parcelas (Chamba, 2020). Existen diferentes métodos de riego que se pueden utilizar en un sistema de riego. Algunos de los métodos comunes son:

4.2.1. *Riego por superficie o por gravedad*

Fernández et al. (2010) y Demin (2014) manifestaron que este método de riego es aquel que consiste en hacer fluir y distribuir el agua al suelo mediante gravedad, debido a que se usa la pendiente del terreno para la circulación del agua, consiste en inundar los campos con agua, permitiendo que esta se infiltre en el suelo. Este tipo de riego no requiere de operar ni mantener equipos hidráulicos complejos, por lo que es considerado el más convencional y el más común entre los agricultores a pesar de su baja eficiencia de aplicación. Es uno de los métodos de riego más antiguos y se utiliza principalmente en terrenos planos.

Flores (2016), menciona que los factores que limitan o hacen que no se tenga una adecuada tecnificación del riego por gravedad son:

- Longitud del surco, se la debe estimar de tal modo que se logre un equilibrio entre la parte superficial del surco y la parte saturada, esta estimación se verá influenciada por la textura del suelo, por ende, no se recomienda surcos que superen los 300 m.

- Pendiente, no debe ser tan pronunciada debido a que esto aumentaría la velocidad del agua y como consecuencia se erosione el suelo y tampoco debe ser tan débil por lo que provocaría estancamiento. Se recomienda no superar el 2 % de pendiente.
- Lámina aplicada, es el volumen que se aplica al inicio del surco. Esta se calcula en función a las necesidades del cultivo, de igual forma, el tiempo de aplicación que se estima en función del diámetro del “sifón”.
- Nivelación y trazo del surco, la nivelación es un factor crucial, debido a que permite determinar la pendiente y longitud del surco. Además, el trazo de surco debe favorecer tanto el flujo de agua en una dirección como el drenaje en la dirección opuesto.
- Intervalo de riego o calendarización del riego, se lo determina en base a las necesidades hídricas de los cultivos, la capacidad de almacenamiento de agua que tiene el suelo y la disponibilidad de agua. Estos factores permiten la planificación adecuada del riego.

4.2.2. Riego presurizado

Es el método que transporta el agua a los cultivos a través de tuberías y laterales de riego mediante presión. Se aplica utilizando emisores que distribuyen el agua en forma de gotas (riego por goteo) o una fina lluvia (riego por microaspersión o aspersión) (Oviedo & Liotta, 2013).

Según Agraria.Pe (2021) los sistemas de riego presurizado pueden ser por: goteo, microaspersión, aspersión y mecanizado. Para seleccionar un tipo de estos métodos depende de las características agronómicas del cultivo que se va a implementar, además en los sistemas de riego presurizados permite la aplicación oportuna y eficiente del agua y nutrientes a las plantas, así como, la posibilidad de cubrir el doble de superficie de campo, con la misma cantidad de agua que se usa en el riego no tecnificado.

4.2.2.1. Ventajas del riego presurizado. Según Jiménez (2015) manifiesta que los sistemas de riego presurizado establecen las siguientes ventajas:

- Este tipo de sistemas permiten aplicar cantidades exactas de agua para los cultivos además el uso integrado de fertilizantes.
- La uniformidad de riego es mayor, en comparación con métodos empíricos.
- El ahorro de agua comparado con el sistema de riego por gravedad en goteo es de 50-70 % y aspersión un 20 % de ahorro.
- Reduce la compactación del suelo.
- No es necesario que el terreno sea plano.

4.3. Riego por goteo

Es aquel sistema de riego mediante el cual el agua es conducido y distribuido por conductos cerrados, los cuales requieren presión. También es conocido como riego localizado, debido a que humedece el suelo solo en la superficie donde se desarrolla el cultivo, el agua es aplicada gota a gota y con las frecuencias que sean necesarias dependiendo del tipo de suelo (Liotta & Olguin, 2015). Es altamente eficiente en el uso del agua, ya que reduce las pérdidas por evaporación y percolación (Chamba, 2020).

4.4. Riego por aspersión

El sistema de riego por aspersión es aquel que aplica agua sobre la superficie total del suelo en forma de lluvia. El agua es conducida a través de una red de distribución compuesta por conducciones o tuberías cerradas que, mediante presión, llevan el agua hasta los aspersores. Estos aspersores son los encargados de expulsar el agua a alta velocidad en forma de lluvia, permitiendo que se infiltre hasta las capas más profundas y quede disponible para el cultivo. Cuando el sistema de riego está bien diseñado, no se producirá pérdidas por escorrentía. Dicho de otra manera, cada gota de agua debe infiltrarse en el punto donde cae. Es importante tener en consideración que el tamaño de las gotas que son emitidas por los aspersores no cause erosión al caer al suelo. Cuanto mayor sea el tamaño de la gota, mayor será la energía con la que impacta en el suelo y, en consecuencia, la erosión podrá ser mayor (Fernández et al., 2010).

Según Pereira et al. (2010), el 10% de la superficie de riego en todo el mundo corresponde a sistemas de riego por aspersión, destacando a los países desarrollados, que son los que ocupan la mayor parte de este porcentaje, con costos altos de mano de obra y de energía. Debido a las innovaciones aplicadas en este sistema de riego, se ha vuelto factible la adaptación en todo tipo de suelos, topografías y climas. Actualmente, se utilizan sistemas de riego por aspersión que utilizan tuberías móviles de forma manual. Sin embargo, debido a la carencia de

mano de obra, se ha incrementado cada vez más la automatización de estos sistemas. Se utilizan válvulas volumétricas que controlan el suministro de agua adecuado y cierran instintivamente después de cada riego, además la suma de un sinnúmero de sensores.

4.4.1. Ventajas y desventajas

Pereira et al. (2010), González (2011) y Mendoza (2019), describen las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Se puede regar en terrenos con pendiente irregular y no es necesario de nivelación.
- Ayuda a controlar la dosis de agua que se aplica.
- Adaptabilidad a la forma y tamaño de las fincas
- Puede ser utilizado en diferente tipo de suelos.
- permite la aplicación de fertilizantes
- Tiene mayor posibilidad de mecanización de los cultivos, ya que se eliminan los obstáculos propios del riego por superficie, solo en caso de sistemas con tuberías en superficie, durante la campaña de riegos dificultaría esta mecanización.
- Ideal para la primera fase de los cultivos.
- Utilizado para dar riegos de socorro y ayuda en la prevención de heladas.
- Se puede realizar lavado de sales.
- Buena adaptación a la rotación de cultivos, considerando que el diseño deberá realizarse para el cultivo de mayor necesidad de agua.

Desventajas:

- Mayor uso de energía.
- El costo de implementación es mayor, esto dependerá del tipo de sistema que se utilice.
- La eficiencia y uniformidad se verá afectada por el viento en aquellas zonas donde estos sean muy fuertes.
- Riesgo de enfermedades en algunos cultivos.
- Puede generar erosión y escorrentía.
- Al regar con aguas salinas corre el riesgo de dañar el cultivo, ya que, provoca quemadura en las hojas.

4.4.2. Tipos de sistemas de riego por aspersión

4.4.2.1. Estacionarios

También denominados como convencionales, son los más comúnmente utilizados. Son aquellos tipos de sistemas de riego donde su tubería y aspersores permanecen de manera fija,

es decir estos no se desplazan durante la aplicación de agua al cultivo. También se incluyen en este grupo aquellos que se los desplaza de una posición de riego a otra, esto se puede hacer a mano, como el caso de tubería flexible, o de forma mecanizada, en aquellos que tienen tubería con ruedas (Pereira et al., (2010). Según Tarjuelo (2005) clasifica a los sistemas estacionarios en:

Móviles: aquellos sistemas de riego donde todos sus elementos de instalación son móviles, donde la bomba también puede ser desplazada.

Semifijos: estos sistemas de riego utilizan la tubería de la red principal fija, es decir está enterrada; y, sus aspersores y monta aspersores, se los puede desmontar y trasladar. Estos sistemas se los suele utilizar solo para una temporada, o el tiempo que salga el cultivo, ideal para superficies pequeñas.

Fijos: se componen de diversas tuberías, las cuales se encuentran enterradas y, todos sus componentes permanecen fijos durante toda su vida útil. Sin embargo, es importante que haya un brote con la altura suficiente para incorporar el aspersor. Estas boquillas esparcen el agua de forma circular, la ubicación de este tipo de aspersores puede estar dispuesta de forma cuadrada, rectangular o triangular. Siempre que el radio de aspersión se encuentre y no dejen espacios a los que no llegue el riego.

4.4.2.2. Automecanizados

Estos tipos de sistemas de riego disponen de motores eléctricos o sistemas hidráulicos que facilitan el movimiento a lo largo del campo cultivado, dentro de esta categoría están los denominados pivot o pivote central, ala de riego de avanzada frontal, mismos que, son capaces de alcanzar grandes distancias de riego, alcanzando así una eficiencia del 75 a 90 % (Cisneros, 2003).

4.5. Componentes de un sistema de riego por aspersión

Según Kühl (1999), Alocén (2007) y el Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador (CONGOPE) (2017), los componentes de un sistema de riego por aspersión son:

4.5.1. Fuente de agua

Este tipo de sistema de riego requiere un caudal continuo que sea capaz de satisfacer las necesidades de los cultivos mismo que puede ser adquirido, de manera superficial, subterránea o combinada. Dentro de esto las características que se debe tomar en cuenta son: ubicación, cantidad, calidad y costo.

4.5.2. Fuente de energía

Los sistemas de riego por aspersión necesitan de una presión para conducir el agua hacia los cultivos a través de los aspersores, dicha presión se la puede obtener mediante:

Bombas: ayuda a impulsar el agua ya que, consta de un motor que proporciona energía, pueden ser activadas por corriente eléctrica, o por combustible ya sea este diésel o gasolina.

Desnivel del terreno: se utiliza cuando la captación o fuente de agua está a una cota superior al que se va a regar, y de esta manera la presión se genera gracias a la gravedad.

4.5.3. Red de distribución

Está compuesta por un conjunto de tuberías que son las encargadas de llevar el agua desde la toma de agua hacia los aspersores para que estos a su vez distribuyan al cultivo. Conformada por tuberías principales, secundarias y laterales, dichas tuberías pueden ser de hierro galvanizado, aluminio, PVC (cloruro de polivinilo), asbesto, cemento y polietileno (PE).

4.5.4. Red de aplicación o aspersores

Son aquellos que se los utiliza para distribuir el agua de riego en forma de lluvia hacia los cultivos, constan de una o más boquillas que se acoplan a un cuerpo central, estos aspersores se ubican sobre unos tubos (porta aspersores) que se enlazan con la tubería lateral, el agua sale a gran velocidad por los aspersores mojando así la zona, estos se pueden clasificar según el tipo de aspersor tales como:

Según el mecanismo de giro: aquí se encuentran aquellos aspersores de martillo o de impacto, hélice, giro parcial, giro rápido, engranaje o turbina y de reacción o rotativos.

Según el área mojada: son de dos tipos aspersores sectoriales (90°, 180°, 270°) y circulares.

Según el número de boquillas: pueden ser de una, dos o más boquillas.

Según la presión de trabajo: aspersores de 10 a 20 mca, considerados de baja presión, mientras que los de 20 a 40 mca, denominados de media presión, y aquellos que sean mayores a 40 mca llamados de alta presión o cañones.

Según la trayectoria o salida de chorro: aquí se encuentran los denominados de ángulo bajo que son los que tiene un ángulo $\leq 25^\circ$ y los de ángulo normal que van de 25° a 45° .

4.5.5. Accesorios

Son aquellos implementos indispensables en un sistema de riego por aspersión, mismos que facilitan la conducción y distribución del agua además de controlar el sistema. Entre los que destacan los siguientes: Válvulas, ventosas, hidrantes o tomas de agua, reguladores de presión, medidores de flujo y de presión, filtros, inyectoros de fertilizante, conexiones: que pueden ser; acoples, codos. uniones, reducciones, elevadores, etc.

4.6. Eficiencia de riego

Es aquella relación que existe entre la cantidad de agua que es utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la bocatoma. Dicha eficiencia de riego deriva de la eficiencia de conducción del canal principal, la eficiencia de distribución en los canales y, laterales, y la eficiencia de aplicación a nivel de parcela. El producto de estas tres eficiencias nos determina la eficiencia de riego de un sistema (Tabla 1) (Nuñez, 2015).

Tabla 1.
Eficiencia de aplicación del agua según el método utilizado

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

Fuente: (Antunez B et al., 2009)

4.7. Evaluación de los sistemas de riego por aspersión

Según Naroua et al., (2012), mediante la evaluación de los sistemas de riego por aspersión facilita conocer el funcionamiento del mismo y de tal manera establecer criterios que ayuden a mejorar la eficiencia y los resultados del riego. Cuando se obtiene valores de uniformidad bajos pueden afectar al rendimiento y a su vez en la calidad de los cultivos y, de esta manera no se estaría dando un correcto uso del agua.

Esto concuerda con Santacruz de León & Santacruz de León, (2020), quienes mediante un estudio realizado denominado Evaluación del desempeño del riego por aspersión en lotes con cultivo de banana en Chiapas, México, destacan la importancia de la evaluación de los sistemas de riego ya que, de esto dependerá si se tiene o no buenos resultados en los rendimientos de los cultivos.

De igual forma Cruz Tun Dzul et al. (2011), manifestaron que la ineficiencia del manejo de riego se tendrá como resultado la escasa o ineficiente producción de los cultivos irrigados, donde los indicadores más notorios son los bajos rendimientos y la mala calidad de los productos, de igual forma propicia el desperdicio del líquido vital.

4.7.1. Eficiencia de los sistemas de riego por aspersión

Es aquella relación que existe entre la cantidad de agua que llega de manera disponible al cultivo con la que sale de la impulsión. Ladino et al. (2021) señalan que para obtener esta eficiencia (75 %), aplicando la siguiente formula:

$$ESR = EC * ED * EA$$

Donde:

ESR= eficiencia del sistema de riego (%)

EC = eficiencia de conducción (%)

ED = eficiencia de distribución (%)

EA = eficiencia de aplicación (%)

Eficiencia de conducción (EC)

Es con la cual se puede evidenciar la pérdida de agua desde el punto de salida del agua hasta el final de la conducción principal y se la calcula de la siguiente manera

$$Ec = \frac{Q_f + \sum Q_i}{Q_e} * 100$$

Donde :

EC = eficiencia de conducción (%)

Q_f = caudal que llega al final de la conducción principal (l/s)

∑Q_i = sumatoria de caudales en los puntos de distribución (l/s), si están cerrados el valor es cero.

Q_e = caudal que entra al inicio del conducto principal (l/s)

Eficiencia de distribución (ED)

Se define como el parámetro que indica la eficiencia con la que transita el agua desde la salida por la conducción principal hacia los ramales de distribución. Se obtiene de la siguiente manera:

$$ED = \frac{Q_{fd} + \sum Q_i}{Q_e} * 100$$

Donde:

ED_i = eficiencia de distribución en la conducción (%)

Q_{fd} = caudal que llega al final del conducto de distribución (l/s)

∑Q_i = sumatoria de caudales en los conductos de distribución (l/s). si están cerrados el valor es cero.

Q_e = caudal que entra al inicio del conducto de distribución (l/s)

Eficiencia de aplicación (EA)

Es aquella relación que existe entre la lámina o volumen promedio de agua irrigada en la cuarta parte inferior con el volumen de agua promedio de agua aplicada, el cual se lo calcula de la siguiente manera.

$$EA = \frac{V_{25\%}}{V_a} * 100$$

Donde:

EA = eficiencia de aplicación

$V_{25\%}$ = volumen medio de la cuarta parte de los vasos con menos agua (cm^3)

V_a = volumen promedio (cm^3)

Evaluación de la uniformidad de riego: Delgadillo et al. (2011) mencionan que para determinar la eficiencia, en cuanto al coeficiente de uniformidad de un sistema de riego por aspersión y de esta manera concluir sí, es que el sistema reúne las condiciones necesarias para aplicar los riegos adecuadamente, de tal manera que alcance el coeficiente requerido (75%), se realizará lo siguiente:

También mencionó que, es muy importante conocer si se está aplicando de manera uniforme el agua de riego al suelo, debido a que, una baja uniformidad significa, que en algunas zonas del suelo va a tener exceso de agua, mientras que otras con escasez. Esta evaluación tiene como objetivo determinar el coeficiente de uniformidad de la unidad de riego, el cual se lo obtendrá, primero el de una zona de dicho sistema seleccionada previamente (CU_Z).

$$\text{CU}_Z = 100 * \frac{V_{25\%}}{V_m}$$

Donde:

CU_Z : coeficiente de uniformidad de la zona

$V_{25\%}$ volumen medio de la cuarta parte de los vasos con menos agua (mm)

V_m : volumen medio de todos los vasos (mm)

Uniformidad de instalación o coeficiente de uniformidad (CU): se lo obtiene mediante la medición de presiones y se calculará con el dato obtenido del CU_Z , es de mucha importancia tener en cuenta el cambio de presiones, dicho de otro modo, el caudal de cada aspersor cambiará con la presión. El CU se lo clasificará como excelente o inaceptable (Tabla 2) (Fernández, et al., (2010); así mismo se determinará la uniformidad de instalación de la siguiente manera:

$$\text{CU} = \text{CU}_Z * \frac{1 + 3 \times \sqrt{\frac{P_{\min}}{P_m}}}{4}$$

Donde:

CU: coeficiente de uniformidad

CU_Z : coeficiente de uniformidad de la zona evaluada

P_{min}: presión mínima

P_m: presión media

Tabla 2.

Calificación del coeficiente de uniformidad (CU)

Valor del CU	Calificación
Mayor de 85 %	Excelente
De 80 a 85 %	Buena
De 75 a 80 %	Aceptable
Menor de 75 %	Inaceptable

Fuente: (Fernández, et al., 2010)

4.8. Presión

Fernández et al (2010) manifiesta que, la presión se puede definir como la fuerza ejercida sobre una superficie determinada. En referencia al agua que circula en una tubería, la presión es la fuerza que ejerce el agua sobre las paredes de ésta y los distintos elementos que componen el sistema.

Las principales unidades en que se mide la presión del agua en una conducción o tubería son las siguientes:

- Atmosferas (atm)
- Kilogramos/centímetro cuadrado (kg cm^{-2}), usualmente conocida por el término “kilos”
- Metros de columna de agua (m.c.a.)
- Megapascuales (MPa)

4.8.1. Presión en los sistemas de riego por aspersión

Se considera que la diferencia de caudal admitida en un ramal (y por extensión en un sector de riego) será de un 10% lo que equivale a una diferencia de presiones del 20% cuando se trate de aspersores estándar que no tengan la capacidad de compensar la presión de trabajo.

El control de la presión en los diferentes puntos de la parcela es fundamental para conseguir resultados satisfactorios durante la operación de riego. Si entendemos el comportamiento de la presión y la comprobamos durante el proceso de diseño y manejo obtendremos instalaciones bien dimensionadas e hidráulicamente compensadas Redondo, (2016).

4.9. El suelo en los sistemas de riego

El suelo se define como aquella capa superficial arable de la tierra mediante la cual se desarrollan los cultivos y microorganismos, esta capa se es la base de vida de las plantas, es su soporte, además, es de donde extraen agua y minerales necesarios para su crecimiento (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), 2015).

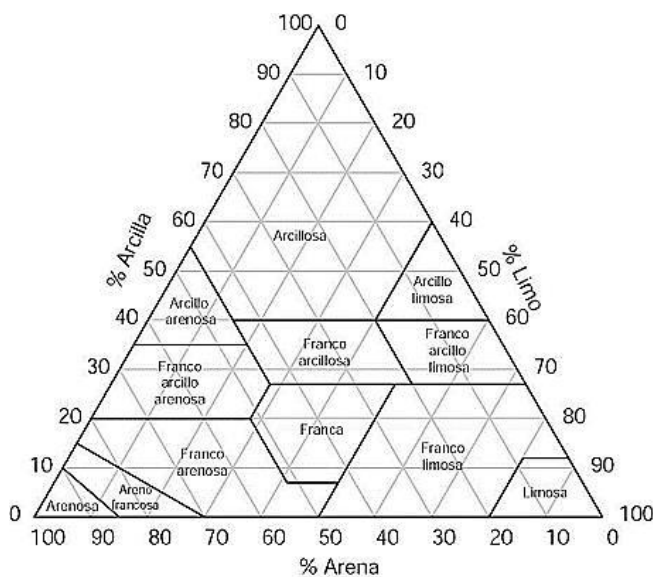
4.9.1. Textura

Blanquer et al. (2010), expresaron que es una característica del suelo la cual tiene una modificación muy lenta y a su vez compleja, esta expresada por aquella relación en porcentaje de arena, limo y arcilla contenida en una porción de suelo. Este término se refiere a las diferentes proporciones de separados en la fracción mineral del suelo, denominándose de la siguiente manera:

- Arenas: tamaño de 2.00 a 0.05 mm de diámetro
- Limos: Tamaño de 0.005 a 0.002 mm de diámetro
- Arcillas: Tamaños < 0.002 mm de diámetro

Figura 1.

Triangulo textural de la USDA



Fuente:(Blanquer et al., 2010)

4.9.2. Estructura

Es la forma en la que las partículas del suelo se asocian entre sí, formando de manera natural grupos unidos sin la intervención humana, dicho de otra manera, es la propiedad física que tiene el suelo que afecta a la infiltración del agua, drenaje y desarrollo de raíces.

Aquellos suelos que son granulares esferoidal y los sin estructura o de grano simple tienen un rápida velocidad de infiltración, los prismáticos y bloques velocidades moderadas y los de baja velocidad de infiltración son los laminares y masivos (Cisneros, 2003).

4.9.3. Densidad Aparente

También denominada como peso específico del suelo, es la relación que existe entre el peso seco (105 °C) de una muestra de suelo, y el volumen que dicha muestra ocupaba en el

suelo. Es de mucha importancia determinar la densidad aparente ya que determina la compactación y la facilidad de circulación de agua y aire, una mayor densidad aparente significa menor porosidad (Alocén, 2007).

Para Zilio, (2015) , la densidad aparente presenta valores que están relacionados y a su vez varían dependiendo de las propiedades del suelo tal como la textura y el contenido de materia orgánica. En la tabla se muestran los rangos de densidad aparente en relación a la textura del suelo.

Tabla 3.

Valores de densidad aparente en relación a la textura del suelo

Tipo de suelo	Valor de densidad aparente (g/ cm³)
Arenoso	1.4 – 1.6
Francos	1.3
Arcillosos	1.1

Fuente: (Zilio, 2015)

4.9.4. Punto de marchitez permanente

Es cuando el contenido de agua que tiene el suelo se ha perdido en su totalidad a causa de un cultivo razón por la cual no estará disponible para el mismo, es por ende que el cultivo va a manifestar síntomas de marchitez y por más que se intente no se lo podrá revivir (Silva et al., 2015).

4.9.5. Capacidad de campo

Silva et al., (2015), expresan que, capacidad de campo es el contenido de agua que tiene un suelo, después de haber sido mojado abundantemente y drenado libremente evitando pérdidas por evapotranspiración. Dicho de otra manera, es cuando el suelo mantiene su humedad después de haber ocurrido lo antes mencionado y el cultivo se desarrolla sin problema.

4.10. Velocidad de infiltración

Se define como el proceso en el cual el agua se infiltra en el interior del suelo en un determinado tiempo. Por otro lado, la determinación de la infiltración es una técnica fundamental para el manejo eficiente de los recursos agua y suelo. La velocidad de infiltración no es uniforme, gradualmente disminuye con el tiempo, es máxima al comenzar el proceso, particularmente si el suelo está seco; luego disminuye progresivamente hasta el valor mínimo el cual se conoce como infiltración básica (Delgadillo & Pérez, 2016).

Para determinar la infiltración Kostiakov planteó la siguiente ecuación:

$$F=C*t^m$$

Donde:

F= Lámina total infiltrada en el tiempo

C y m= Parámetros a determinar con datos experimentales

T= Tiempo

a) Infiltración acumulada: es la sumatoria de las alturas de agua infiltradas durante el tiempo de prueba. Su expresión matemática es la siguiente:

$$I_{\text{acum}} = \int_0^t VI = \frac{a}{b+1} * t^{b+1}$$

Donde:

$$I_{\text{acum}} = A * t^b$$

I_{acum}=Infiltración acumulada

t=Tiempo

Los parámetros de a y b de la ecuación se pueden obtener mediante el método de los mínimos cuadrados o gráficamente representando las mediciones en un papel doble logarítmico.

b) Infiltración promedio: es la relación que hay entre la infiltración acumulada con el tiempo transcurrido de la práctica.

c) Velocidad de infiltración básica: corresponde al valor que la variación de la velocidad de infiltración en relación al tiempo menor o igual que el 10 % de su valor. Esta velocidad se mantiene constante a partir de cierto periodo.

Determinar el valor de velocidad de infiltración básica es importante para el diseño de sistemas de riego presurizado, es decir, con este valor se realiza la selección de los emisores. Su expresión matemática es la siguiente:

$$VIB = a (-600 * b)^b$$

Para realizar la interpretación de la velocidad de infiltración Duque (2009) presenta la siguiente tabla:

Tabla 4. Clasificación de la VIB.

Clases de Infiltración	cm/h
Muy lenta	< 0,127
Lenta	0,127 - 0,50
Moderadamente lenta	0,50 – 2,00
Media	2,00 – 6,35

Moderadamente rápida	6,35 – 12,7
Rápida	12,7 – 25,0
Muy rápida	25,0

Fuente: (Duque,2009)

4.11. Caudal

Según (Barreto, 2009), el caudal es aquel volumen de agua que atraviesa la sección transversal de un cauce por unidad de tiempo, dicho caudal es expresado en m³/s o también en l/s.

Para determinar el caudal existen varios métodos de aforo de los cuáles tenemos los siguientes:

Método de sección y velocidad:

Es conocido como el método del flotador, mismo que consiste en medir la velocidad en algunos puntos de la sección transversal de una corriente y determinar la sección mediante la medición de profundidades en la sección transversal al río, posteriormente se calcula el gasto mediante la ecuación de continuidad (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), 2017)

Método Volumétrico:

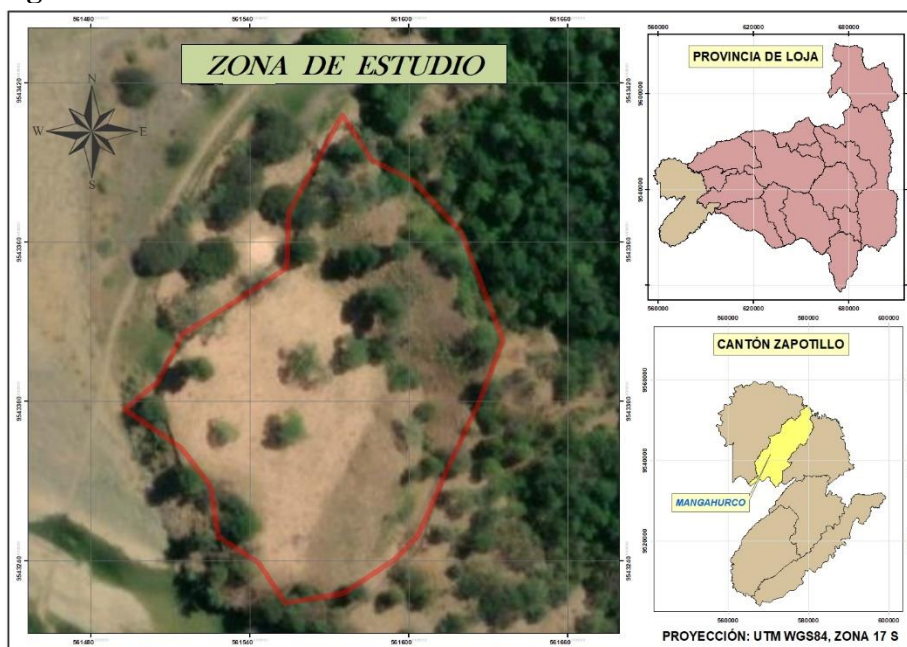
Este método es el más usado principalmente para pequeños nacimientos de agua ya sean estos riachuelos, quebradas, o en sección cerrada que no transporte mucha agua consiste en conducir un caudal a un recipiente o deposito impermeable de volumen conocido y se cuenta el tiempo total en el que tarda en llenarse el depósito (ICC, 2017).

5. Metodología

5.1. Ubicación del lugar

La finca Los Manzanos, se encuentra en el barrio Saucesito, parroquia Mangahurco, cantón Zapotillo, en la provincia de Loja. Según las coordenadas UTM, su ubicación es 561 567 m E y 9 543 328 m S, y su altitud es de 313 m s.n.m. El clima de la zona es cálido seco (PDyOT-Mangahurco, 2019), con una temperatura que oscila entre 22 y 32 °C. El barrio Saucesito tiene una población de 40 habitantes, y la finca está a 20 minutos de la cabecera parroquial Mangahurco y a tres horas de la ciudad de Zapotillo.

Figura 2. Ubicación de la zona de estudio



Fuente: Cartografía nacional escala 1:50 000 IGM,2022

Elaborado: Autor

5.2. Materiales

5.2.1. Materiales de campo

- Libreta,
- lápiz,
- Borrador,
- Calculadora,
- Cronómetro,
- Cinta métrica.

5.2.2. Materiales de laboratorio y equipos

- GPS diferencial,

- Caudalímetro,
- Cámara fotográfica,
- Cilindros infiltrómetros,
- Manómetro de glicerina con las adaptaciones para el aspersor,
- Probeta,
- Vasos pluviométricos.

5.2.3. Recursos tecnológicos

- Computador,
- AutoCAD Civil 3D versión estudiantil, y Sistemas de Información Geográficos.

5.3. Metodología

5.3.1. Metodología para el primer objetivo

Caracterizar el sistema de riego por aspersión del barrio saucecito finca los manzanos:

En primer lugar, se llevó a cabo un levantamiento topográfico con el fin de determinar el área, la forma del terreno y la extensión de tuberías principales, secundarias, terciarias y marcos de riego del sistema. Además, se realizó una inspección detallada de los componentes del sistema de riego, para evaluar el estado de los accesorios. Se inspeccionaron las tuberías, juntas, elementos de control, piezas especiales, aspersores y otros elementos, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas. Posteriormente, se registró el estado y la cantidad de elementos como manómetros, cortadoras y otros accesorios que conforman el sistema de riego en hojas de campo (Bohórquez, 2014).

5.3.2. Metodología para el segundo objetivo

Determinar la eficiencia y uniformidad de riego:

Eficiencia:

Se procedió a medir los caudales del inicio de la conducción, a la llegada de la cabecera de la parcela, al final de la conducción y en los laterales que se estaba trabajando. Para de esta manera poder aplicar las fórmulas antes mencionadas en la determinación de la eficiencia de conducción, distribución y aplicación para obtener la eficiencia total del sistema de riego

Con base a lo mencionado en el párrafo anterior, primero se calculó la eficiencia de conducción, luego eficiencia de distribución y eficiencia de aplicación. Para finalmente con estos parámetros obtener la eficiencia del sistema de riego con base a la metodología propuesta por Ladino et al. (2021):

- **Eficiencia del sistema de riego**

$$ESR = EC * ED * EA$$

Donde:

ESR= eficiencia del sistema de riego (%)

EC = eficiencia de conducción (%)

ED = eficiencia de distribución (%)

EA = eficiencia de aplicación (%)

➤ **Eficiencia de conducción**

$$Ec = \frac{Q_f + \sum Q_i}{Q_e} * 100$$

Donde :

EC = eficiencia de conducción (%)

Q_f = caudal que llega al final de la conducción principal (l/s)

∑Q_i = sumatoria de caudales en los puntos de distribución (l/s). Sí están cerrados el valor es cero.

Q_e = caudal que entra al inicio del conducto principal (l/s)

➤ **Eficiencia de distribución**

$$ED = \frac{Q_{fd} + \sum Q_i}{Q_e} * 100$$

Donde:

ED_i = eficiencia de distribución en la conducción (%)

Q_{fd} = caudal que llega al final del conducto de distribución (l/s)

∑Q_i = sumatoria de caudales en los conductos de distribución (l/s). Sí están cerrados el valor es cero.

Q_e = caudal que entra al inicio del conducto de distribución (l/s)

➤ **Eficiencia de aplicación**

$$EA = \frac{V_{25\%}}{V_a} * 100$$

Donde:

EA = eficiencia de aplicación

V_{25%} = volumen medio de la cuarta parte de los vasos con menos agua (cm³)

$V_a =$ volumen promedio (cm^3)

Uniformidad de riego

Para evaluar la uniformidad de riego, se realizaron los siguientes pasos de acuerdo a la metodología establecida por Delgadillo et al., (2011):

- Antes de iniciar el riego, se instaló una red de vasos pluviométricos (28 vasos) con una de 2,16 x 2,16 m, para recolectar el agua de tres aspersores durante un período de 90 minutos.
- Después de finalizar el riego, se procedió a medir el volumen de agua recogido por cada vaso utilizando una probeta. A partir de estas mediciones, se calculó la media de los volúmenes de agua recogida por los vasos, así como la media de los volúmenes medios (V25 %) de los vasos que recolectaron menos agua.
- Para determinar la Uniformidad de Distribución de la zona evaluada (Cuz), se utilizó la siguiente fórmula:

$$Cuz = 100 \times \frac{V_{25\%}}{V_m}$$

Donde:

Cuz: coeficiente de uniformidad de la zona

$V_{25\%}$: volumen medio de la cuarta parte de los vasos con menos agua

V_m : volumen medio de todos los vasos

Para determinar la uniformidad de instalación o el coeficiente de uniformidad se lo hizo de la siguiente manera:

- Con la ayuda del manómetro y una vez que se termine de recolectar el volumen de agua en los vasos pluviométricos, se realizó la medida de la presión de varios aspersores distribuidos en zonas de riego. se tomó en cuenta los aspersores que humedecen la zona evaluada. De la misma manera se evaluó el primer y último aspersor de las laterales de riego.

Para el cálculo de la uniformidad de distribución se procedió a calcular la con la siguiente de fórmula:

$$CU = C_{uz} \frac{1 + 3 \times \sqrt{\frac{P_{min}}{P_m}}}{4}$$

Donde:

UD: uniformidad de distribución

UDz: uniformidad de la zona evaluada

P min: presión mínima de los aspersores medidos en (Kg cm⁻²)

Pm: presión media de los aspersores medidos en (Kg cm⁻²)

5.3.3. Metodología para el tercer objetivo

Con la información recopilada, se elaboró un plan de operación y mantenimiento para asegurar el funcionamiento eficiente del sistema de riego por aspersión. Este plan contribuirá a un uso más eficiente del agua de riego y al mejoramiento de la producción en la finca Manzanos. Además, se propuso un rediseño del método de riego por aspersión con el fin de garantizar una mejor eficiencia y uniformidad en el riego, también se realizará una propuesta de rediseño del sistema de riego esto con l finalidad de aumentar la eficiencia de riego que se lo pondrá a consideración del agricultor, para este rediseño se utilizará la siguiente metodología:

5.3.3.1. Constantes hidrofísicas del suelo

Para determinar las constantes hidrofísicas de las muestras de suelo disturbadas y no disturbadas se realizaron los siguientes análisis siguiendo el procedimiento:

Saturación: las muestras fueron saturadas hasta que la parte superior del cilindro se cubrió de agua (pF = 0) en términos de volumen es igual a la porosidad total, después de ello se procedió a secar la muestra a 105 °C, esta diferencia representa el porcentaje de saturación en el suelo.

Capacidad de campo y punto de marchitez permanente: los resultados se obtuvieron mediante un análisis realizado en el Laboratorio de AGROCALIDAD de la ciudad de Quito, empleando el método de la centrífuga.

Densidad aparente: se determinó mediante el método del anillo volumétrico, que consistió:

Con la recolección de muestras de suelo inalteradas, mismas que fueron pesadas antes y después de ser colocadas en la estufa, a 105 °C por 48 horas. Los valores obtenidos se replazaron en la siguiente fórmula:

$$D_a \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Peso de la muestra seca a } 105 \text{ }^\circ\text{C (g)}}{\text{Volumen del cilindro muestreador (cm}^3\text{)}}$$

Características físicas

Para determinar la textura de la composición mineral del suelo de cada subunidad de riego, se utilizó el método del hidrómetro o Bouyoucos, mediante el tiempo de sedimentación de la arena, limo y arcilla, seguidamente se determinó la textura del suelo utilizando el triángulo textural (Figura 1).

Curva de retención de humedad del suelo

A partir de los resultados obtenidos de las constantes hidrofísicas, se graficó en una hoja de cálculo la curva de retención de humedad del suelo, en la que se relacionó el potencial hídrico (eje Y) y el contenido volumétrico de humedad (eje X).

Velocidad de infiltración de agua en el suelo

Aplicando el método de anillo doble con tres repeticiones: Primeramente, se limpió una parte de la superficie del terreno para colocar el par de anillos a una profundidad considerable y correctamente nivelados.

Se lleno de agua el anillo externo y luego el interno, en seguida se inició a registrar las lecturas de variación del nivel del agua en relación al tiempo del anillo interno.

Finalmente, las lecturas se registraron durante 4 horas en intervalos de 5, 10, 15 y 30 min, hasta que el descenso del nivel del agua se estabilizó. Los valores obtenidos se procesaron con el modelo matemático de Kostiakov.

Infiltración acumulada: en una hoja de cálculo se graficó la curva de infiltración acumulada mediante la ecuación de Kostiakov, a partir del tiempo acumulado (eje X) y lamina acumulada (eje Y). Se expresa la ecuación:

$$I_{cum} = A * T^B$$

Donde:

I_{cum} = Infiltración acumulada (cm)

A y B = Parámetros de la ecuación (adimensional)

T = Tiempo (min)

Infiltración instantánea: de la ecuación potencial positiva de la infiltración acumulada se determinó la infiltración instantánea, con la expresión:

$$I_{inst} = a * t^b$$

Donde:

I_{inst} : Infiltración instantánea (cm)

T: Tiempo (min)

a y b Constantes negativas (adimensional), determinadas de las ecuaciones:

$$A=a/(b+1) \rightarrow a=A(b+1)$$

$$B=(b+1) \rightarrow b=B-1$$

Velocidad de infiltración básica: Se obtuvo derivando la ecuación de infiltración instantánea y se multiplico por un factor de conversión para expresarlo en horas; la ecuación:

$$I_{bas} \text{ (mm/h)} = a [(-600b)]^b$$

5.3.3.2. Diseño agronómico

Una vez obtenida la información primaria para el diseño agronómico de un sistema de riego por aspersión se procede a calcular los parámetros que permiten planificar el uso del agua en el cultivo en épocas de máxima necesidad.

Necesidades hídricas de los cultivos

Para esto se utilizo información tanto de los anuarios meteorológicos, así como también información del cultivo de maíz (kc y etapas fenológicas). Teniendo esta información se realizó lo siguiente:

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

Se determinó mediante la ecuación propuesta por la FAO, que relaciona la evapotranspiración de referencia por el coeficiente de cultivo, así:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ET_c: Evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹)

ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

K_c: Coeficiente del cultivo (adimensional)

Coeficiente del cultivo (K_c)

Se graficó la curva del K_c del cultivo, tomando como referencia las etapas fenológicas propuestas por FAO (2006) para cultivos de café en suelo sin cobertura. Con la fecha de siembra y los meses que tarda en desarrollarse el cultivo, se graficó en el eje "X" el periodo de desarrollo y en el eje "Y" los valores del coeficiente de cultivo.

Precipitación efectiva

Para el cálculo se utilizó el programa CROPWAT 8.0 de FAO, el cual aplica la ecuación de USD Soil Conservation Service; con base en la precipitación media mensual de la estación Zapotillo se determinó la Pe.

Necesidades de riego

Para determinar los requerimientos se utilizó la ecuación:

$$\text{Requerimientos de riego} = \text{ETc} - \text{Pe}$$

Donde:

Pe: Precipitación efectiva (mm/mes)

ETc: Evapotranspiración de referencia (mm/mes)

Necesidades brutas

Es el cociente entre el fraccionamiento del balance hídrico con la eficiencia del sistema de riego (E_a), empleando la expresión:

$$N_b = \frac{ET_c}{E_a}$$

Donde:

N_b : Necesidades brutas (mm/día)

ETc: Evapotranspiración de cultivo (K_c)

E_a : Eficiencia de aplicación para el sistema de riego por aspersión

5.3.3.3. Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico contribuye a determinar el dimensionamiento de todos los componentes que constituyen el sistema de riego, red principal, secundaria, laterales, pérdidas de carga en las tuberías y accesorios, con base a dos criterios: Las pérdidas de carga por fricción (h_f) y la diferencia de presiones en cada lateral no deben superar el 20 % de la presión de servicio o nominal (P_s) del aspersor, y la velocidad del flujo debe estar entre 0,5 a 2,5 m/s, para ello se empleó la ecuación de Hazen-William, mientras que para corregir la pérdida de carga por fricción por longitud, en la tubería secundaria y lateral se utilizó al factor de corrección de Christiansen.

Pérdidas de carga por fricción longitudinal en las tuberías.

Para calcular las pérdidas de carga por fricción en las tuberías se utilizó la fórmula de Hazen-Williams para tuberías de PVC o Polietileno

$$h_f = j * L$$

Donde:

h_f : Pérdida de carga en la tubería para una longitud (m)

j : Gradiente hidráulico ($m \cdot m^{-1}$)

L : Longitud de la tubería (m)

El gradiente hidráulico se calculó utilizando la fórmula:

$$J=1,21*10^{10} * \frac{Q^{1,852}}{C} * D^{-4,87}$$

Donde:

Q: Caudal en (L h⁻¹)

C: Coeficiente de fricción

D: Diámetro interior de la tubería (mm)

Pérdidas de carga por fricción en la secundaria y lateral.

Las tuberías secundaria y lateral son de salidas múltiples y se determinó utilizando el gradiente hidráulico de las tuberías secundaria y lateral (J), multiplicando por la longitud de cada tubería, para ello se empleó la ecuación:

$$H_f = j * L * F$$

Donde:

hf: Pérdida de carga en la tubería (m)

J: Gradiente hidráulico (m m⁻¹)

L: Longitud de la tubería (m)

F: Coeficiente de reducción de pérdidas de Christiansen (adimensional)

Presión al origen del lateral

Según la topografía del terreno, el recorrido de la tubería del lateral es en forma descendente, por lo que para determinar la presión se utilizó la fórmula:

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4}hf - \frac{H_g}{2} + H_a$$

Donde:

$\frac{P_o}{\gamma}$: Máxima presión en el aspersor o en el origen del lateral (m)

$\frac{P_a}{\gamma}$: presión de trabajo del aspersor (m)

$\frac{H_g}{2}$: Desnivel geométrico entre los extremos del lateral

H_a: Altura del elevador (m)

hf: Pérdida de carga del lateral

Presión al final del lateral

Se utilizó la siguiente expresión matemática.

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \left(\frac{1}{4}\right)hf + \frac{H_g}{2}$$

Donde:

$\frac{P_n}{\gamma}$: Presión final del lateral (m)

$\frac{P_a}{\gamma}$: Presión de trabajo del aspersor (m)

6. Resultados




6.1. Resultados para el primer objetivo



Caracterización de los componentes del sistema de riego:

Luego de recorrer el sistema de riego de la finca Los Manzanos, se realizó un levantamiento topográfico que permitió determinar las distancias de las redes principales, secundarias y terciarias. Además, se estableció una superficie de riego de 0,813 ha (ver Anexo 3). Dentro del recorrido el sistema de riego de la finca Los Manzanos se pudo visualizar y determinar los componentes que lo conforman, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.

Componentes del sistema de riego

Componentes del sistema de riego	Características	Estado	Material de construcción	Fotografía
Fuente de agua	Pozo somero Forma ovidal	Regular	Tierra (orilla de la quebrada)	
Fuente de energía	Motobomba Potencia: 10 HP Presión: 70 mca Q: 40 m ³ h ⁻¹ Combustible: diesel	Bueno		
Red de distribución principal	Tubería Pn: 1 MPa Ø: 63 mm Longitud: 80 m	Regular	Polietileno	

Red de distribución secundaria	Tubería Pn: 1,25 MPa Ø: 50 mm Longitud: 110 m	Regular	PVC	
Laterales de riego	Tubería Pn: 1,25 MPa Ø: 32 mm	Bueno	PVC	
Aspersores	NAADANJAIN y NETAFIN Total: 64 Q: 560 l h ⁻¹ Ø húmedo: 18m Cobertura: 360°	Regular		
	Cortadora tipo bola Total: 15	Regular	PVC	
Accesorios	Abrazaderas Total: 3 Ø: 63 mm	Bueno	Metálicas	
	Tapones Ø: 32 mm Total: 16	Bueno	Plástico	

Collarín	Bueno
Ø: 12,5 mm	
Total: 64	



Como se puede observar en la Tabla 5, el sistema de riego por aspersión utiliza como fuente de agua un pozo somero ubicado en el cauce de la quebrada Cerro Verde, a una altitud de 277 m s.n.m. El pozo tiene una forma circular y una profundidad de 1,8 m. En la época de verano, el caudal disminuye por el estiaje. Para aumentar el aporte de agua subterránea, el agricultor hace excavaciones en el pozo.

El sistema también cuenta con una bomba de marca Shark 10 HP como fuente de energía. La bomba tiene una presión de trabajo de 70 m.c.a y un caudal de $40 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, y está a 6 m del pozo. La bomba se conecta con dos tuberías de 60 mm de diámetro: una de succión y otra de salida. Para regular la presión del agua que se envía a la parcela, se usa un manómetro de glicerina de hasta 10 bar.

La tubería de polietileno (PE) de 60 mm de diámetro, presión nominal de 1 MPa que conforma la red de distribución principal del sistema de riego, recorre 80 m desde la bomba hasta el inicio de la parcela. Sin embargo, se observaron fugas de agua en algunas uniones, con tubería de PVC del mismo diámetro, lo que afecta el caudal y pérdidas presión del sistema.

La red secundaria de riego está compuesta por una tubería de PVC de 50 mm de diámetro, presión nominal de 1,25 MPa y recorre una distancia de 110 m por toda la cabecera de la parcela, que se conecta a la red principal mediante una reducción, y da origen a las laterales que distribuyen el agua a las plantas.

La tubería terciaria o laterales de riego, instalada en contra de la pendiente del terreno, es de PVC de 32 mm de diámetro. Este detalle supone que es el que puede afectar al correcto funcionamiento del sistema de riego, por las pérdidas de carga que generasen. Además, estas tuberías no tienen una instalación uniforme y presentan marcos de riego de diferentes dimensiones, lo que también disminuye a la distribución uniforme y eficiencia del riego. Los collarines de 12,5 mm de diámetro que contienen los porta aspersores de igual diámetro, se encuentran sobre esta tubería además tienen una altura de 1,8 m.

El sistema cuenta con dos tipos de aspersores, ambos con características similares, pero de diferente casa comercial, se evidenció un total de 64 aspersores con un ángulo de cobertura de 360° , caudal de 560 l h^{-1} , con un marco de riego no uniforme.

El sistema de riego cuenta con 15 válvulas de control de caudal tipo bola (cortadoras), de un diámetro de 32 mm las cuales tienen la función de repartir el agua por las laterales de riego.

El sistema para asegurar las uniones entre los tramos de la tubería y evitar así que se produzcan escapes de agua cuenta con abrazaderas metálicas (3 abrazaderas en todo el sistema). Las abrazaderas metálicas utilizadas son de acero inoxidable con pernos que se ajustan y se fijan al diámetro de la tubería, creando un sello hermético que impide la filtración del agua.

Los tapones son elementos que se encuentran ubicados en los extremos de las laterales de riego y que permiten eliminar el aire y los sedimentos que se acumulan en el sistema. De esta manera, se evita que se produzcan obstrucciones o daños en los emisores de riego y se mejora la eficiencia del uso del agua.

La porta aspersores se instalan en las laterales mediante collarines de 12,5 mm, que son piezas de plástico que permiten derivar el agua de la tubería terciaria. Estos collarines tienen una alta resistencia y una junta de estanqueidad para evitar fugas.

Por último, se encuentran los tapones, que son elementos ubicados en los extremos de las laterales de riego y que permiten eliminar el aire y los sedimentos que se acumulan en el sistema. De esta manera, se evita que se produzcan obstrucciones o daños en los emisores de riego y se mejora la eficiencia del uso del agua.

6.2. Resultados para el segundo objetivo

Determinar la eficiencia y uniformidad del sistema de riego bajo el manejo actual que realiza el agricultor.

6.2.1. Eficiencia del sistema de riego por aspersión

La eficiencia de conducción (EC) es un indicador que muestra porcentaje entre el caudal final y caudal inicial (Anexo 7). De acuerdo con la Tabla 6, este indicador tuvo un valor de 75%, lo que indica que la conducción se encuentra en el límite del rango aceptable y que hubo una pérdida del 25% del caudal, debido principalmente a las fugas en las uniones existentes. Por su parte, la eficiencia de distribución (ED) del sistema de riego fue del 83 % perdiéndose un 17 % del caudal. Por su parte, la eficiencia de aplicación que se la calcula en base a la relación que existe entre el 25 % del total de los vasos con menos agua con el volumen

de todos los vasos, fue del del 44 % siendo una eficiencia baja, lo cual, se ve influenciado por el marco de riego debido a que no existe traslape entre los aspersores.

Con base a los resultados anteriores, se determinó la eficiencia del sistema de riego la cual fue de 27,39 %, catalogada como baja

Tabla 6.

Eficiencia del sistema de riego

EC(%)	ED(%)	EA (%)	ECR(%)
75,00	83,00	44,00	27,39

Una vez realizado la evaluación de uniformidad y de distribución de riego se obtuvieron los siguientes resultados:

6.2.2. Coeficiente de uniformidad de la zona evaluada

Según la Tabla 7, el coeficiente de uniformidad de la zona evaluada (Cuz) presentó un valor de 43,26 %, lo cual, indica una baja eficiencia de riego. Este resultado podría deberse a la variación de la presión y el caudal en los emisores, al marco de riego no uniformes y/o las características del suelo

Tabla 7.

Coeficiente de la uniformidad de la zona (CUz)

Promedio	Promedio	
V_{25%} (cm³)	V_m (cm³)	CUz (%)
109,3	252,6	43,26

6.2.3. Coeficiente de uniformidad

El sistema de riego presenta un coeficiente de uniformidad (CU) muy bajo del 35,34 %, catalogado como muy bajo de acuerdo a la Tabla 8. Esto significa que el sistema no cumple con los estándares mínimos de calidad para garantizar una distribución homogénea del agua en los cultivos. Como consecuencia, puede verse afectado el crecimiento desigual del cultivo de maíz debido a que el riego no llega de manera uniforme a todas las plantas.

Tabla 8.

Coeficiente de uniformidad

P_{min} (atm)	P_m (atm)	CUz (%)	CU (%)
0,562	0,872	43,26	34,72

6.3. Resultados para el tercer objetivo

Realizar un plan de operación y mantenimiento para alcanzar la mayor eficiencia de riego.

6.3.1. Plan de operación y mantenimiento para el sistema de riego por aspersión de la finca “Los Manzanos”

6.3.1.1. Antecedentes

Este documento tiene como objetivo presentar un plan de Operación y Mantenimiento para el sistema de riego por aspersión de la finca Saucecito. Este plan se basa en las características y componentes del sistema, que consiste en una red de tuberías, aspersores y un sistema de bombeo que distribuye el agua a la parcela. El propósito es ofrecer un manual para que el agricultor pueda realizar un manejo adecuado y un uso eficiente del agua de riego.

Operación y Mantenimiento del Sistema de Riego por Aspersión.

Un equipo de riego por aspersión operado correctamente es una ventaja para la finca. Este sistema de riego fue diseñado para aplicar agua de riego satisfaciendo las necesidades del cultivo y sin causar erosión o escurrimiento. La vida útil de este sistema se espera por lo menos 10 años y que se puede asegurar y normalmente aumenta al desarrollar y ejecutar un buen programa de operación y mantenimiento.

Mismo que requiere mantenimiento periódico y una adecuada operación para obtener un funcionamiento satisfactorio. Con base a lo mencionado se propone algunas recomendaciones para ayudar a desarrollar un buen plan de operación y mantenimiento.

6.3.1.2. Operación

Aquí se detalla la manera correcta y eficiente de hacer funcionar los componentes del sistema de riego:

Estación de Bombeo.

- Revisar que el nivel de aceite cada 8 horas de funcionamiento.
- No dejar que se apague la bomba por falta de combustible
- En caso de que el tanque de agua este vacío proceder a llenar
- Cuando se encienda la bomba, dejarla calentar unos 2 minutos, con aceleración baja, para posterior poder acelerar y trabajar a la presión de trabajo.
- No exceder las recomendaciones del fabricante es decir no sobrepasando la presión de trabajo.

- Asegurar la posición de la bomba, misma que debe estar en un lugar plano y no corra el riesgo de que se caiga.
- La tubería de succión que está en la bomba de ser revisada por lo menos al término de un riego y deben ser limpiados en caso de ser necesario.

Tuberías.

- Realizar un recorrido por toda la tubería principal y secundaria para observar si existe corrosión y fugas de agua.
- Verificar que la tubería no esté expuesta a condiciones atmosféricas como sol y viento se ven expuestas a un deterioro muy acelerado.
- Dejar que las tuberías se llenen por completo para evitar el almacenamiento de aire en las mismas y que esto afecte a la presión del agua.

Cortadoras tipo bola

- La apertura y cierre debe ser realizada de manera muy cautelosa, de forma lenta para la entrega de gua a las laterales de riego.
- Tratar de no abrir cortadoras donde aún no sea utilizado el turno de riego.
- Verificar el correcto funcionamiento de las cortadoras.

Aspersores y Accesorios

- No alterar la forma de fabrica en la cual vienen los aspersores, ya que el agricultor extrae las boquillas del mismo.
- Asegurar y revisar que los tapones estén cerrados correctamente.
- Las abrazaderas deberán ser ajustadas para que no haya fuga durante el funcionamiento.

6.3.1.3. Mantenimiento

Son aquellas actividades que se deben realizar para para preservar y restablecer las condiciones de las instalaciones del sistema de riego, prolongando de esta manera la conservación y vida útil del sistema.

Estación de bombeo

- Cambiar el aceite cada 40 horas de trabajo y mantener libre de suciedad los resortes y cables de mando.
- Dejar que el agua pase de régimen turbulento a laminar, antes de colocar la presión de trabajo.
- La succión se debe limpiar al final de cada riego.
- Colocar una malla en la succión para evitar que ingrese algún tipo de basura que obstruya la turbina de la bomba.

Tuberías

- Todas las tuberías que conforman el sistema de riego deben ser drenadas o purgadas al término de la temporada de riego.
- Se debe enterrar a las tuberías que están sobre la superficie principalmente la de la red principal, que al descubierto y soportar las condiciones atmosféricas tales como sol y viento, se ven expuestas a un deterioro muy acelerado, al igual que pueden ser dañadas por animales que transcurren en los exteriores del predio.
- Realizar la reparación a tiempo donde se presenten fugas o averías.
- Las laterales de riego deben ser purgadas al inicio de cada riego con la finalidad de expulsar el aire y sedimentos que en ellas se encuentren.
- Todos los laterales deben ser probados antes de iniciar su operación cada temporada de riego.

Cortadoras

- Deberán ser examinadas al inicio de cada temporada de riego.
- La apertura y cierre se lo debe hacer siempre despacio, evitar cierres bruscos
- Para no ocasionar golpes de ariete aguas arriba de la válvula, mantener libre de objetos y basura que puedan obstaculizar su manipulación.
- Las cortadoras deberán ser cubiertas con algún tipo de jaula esto con la finalidad de que las mismas no se entierren.

Aspersores y accesorios

- Se debe cambiar los aspersores que no estén girando adecuadamente.
- Revisar constantemente que las abrazaderas no presenten anomalías.
- Los collarines también serán examinados para evitar fugas.
- Los parantes de los aspersores deberán tener su tutor para que no haya un mal funcionamiento.

6.4. Propuesta de mejoramiento del sistema de riego por aspersión

Se procedió a realizar el rediseño del sistema con la finalidad de poder alcanzar la uniformidad y la operación adecuada. Este proceso se basó en los resultados obtenidos de la evaluación previa del sistema de riego por aspersión de la Finca los Manzanos, en la que se determinó que las condiciones de uniformidad no eran óptimas para la operación. De esta manera, se pretende mejorar el rendimiento y la eficiencia.

6.4.1. Rediseño del sistema de riego por aspersión

6.4.1.1. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo

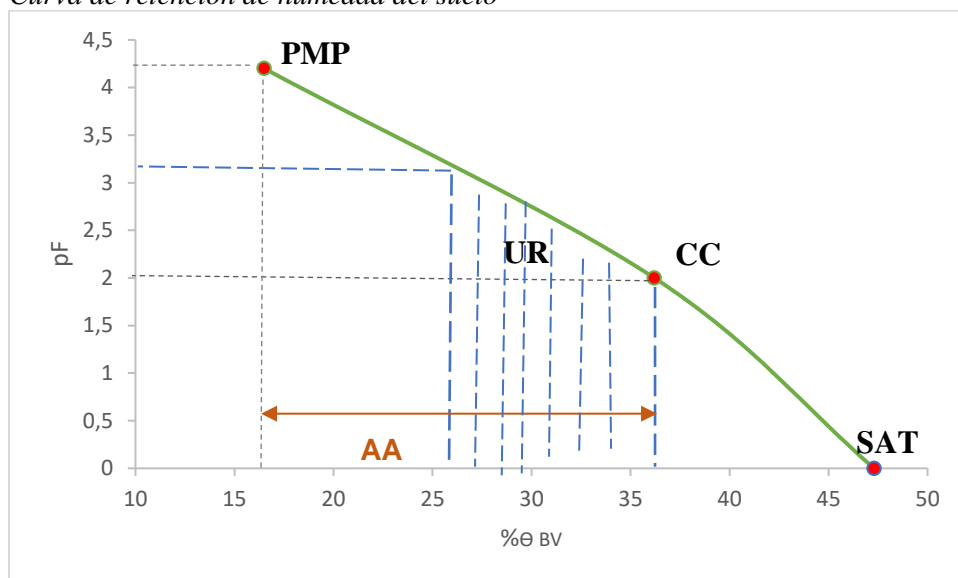
Para que el cultivo tenga un buen desarrollo se necesitan condiciones adecuadas tales como proporciones adecuadas de agua, microorganismos, características de minerales, entre otros. A $pF = 0$, el porcentaje de saturación fue de 47,3 % y cuando el drenaje ha culminado el máximo nivel de humedad que puede retener el suelo o CC a $pF = 2$ fue de 36,2 %. El agua restante corresponde al PMP a $pF = 4$ fue de 16,5 %, esto queda retenida fuertemente, de tal forma que las raíces no pueden vencer esta fuerza y su extracción será más difícil.

6.4.1.2. Curva de retención de humedad del suelo

Con base a los estudios realizados del suelo se obtuvo el contenido de agua en el suelo, como se observa en la Figura 3, el porcentaje de saturación es de 47,3 % y cuando el drenaje ha culminado el máximo nivel de humedad que puede retener el suelo o CC a $pF = 2$ tiene un valor de 36,2 %. El agua restante corresponde al PMP a $pF = 4$ es de 16,5 %.

Figura 3.

Curva de retención de humedad del suelo

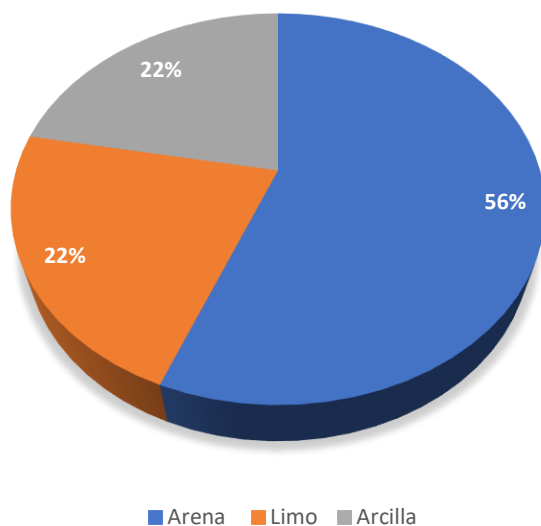


6.4.1.3. Evaluación de las condiciones físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo influyen en la productividad agrícola, ya que afectan el movimiento y almacenamiento del agua en el suelo, así como la disponibilidad de nutrientes y oxígeno para las plantas. La Figura 4 muestra los porcentajes de las fracciones del suelo (arena, limo y arcilla), según el sistema de clasificación textural de la USDA, este tipo de suelo se lo clasifica como franco arcillo arenoso.

Figura 4.

Relación de la clase textural y la proporción de la fracción de suelo



6.4.1.4. Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración del agua en el suelo depende de varios factores, como la textura, la estructura, el contenido de materia orgánica, el estado de humedad y la presencia de sales o sedimentos en el suelo o en el agua de riego. El valor promedio de la velocidad de infiltración básica fue de $3,13 \text{ cm h}^{-1}$ (Anexo 9), que se clasifica como media según Duque,(2009), quien establece que para velocidades de infiltración entre $2,00$ y $6,35 \text{ mm h}^{-1}$, la velocidad de infiltración se considera media, lo cual está en concordancia con el tipo de textura del suelo.

6.4.2. Diseño Agronómico para el riego por aspersión

Se estimó los requerimientos hídricos del cultivo de maíz para el periodo de julio a noviembre, que son los meses de mayor demanda de agua y las fechas de siembra en el sector. Los resultados encontrados para el diseño se detallan a continuación.

6.4.2.1. Necesidades hídricas del cultivo

Para su determinación se realizó lo siguiente:

6.4.2.2. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

Con la ayuda del tanque evaporímetro permitió determinar la ET_o. Los valores mensuales de ET_o para la finca Los Manzanos se presentan en la Tabla 9, donde se observa

que los meses con mayor ETo fueron octubre y noviembre con 7,44 mm día⁻¹, mientras que el mes con menor ETo fue julio con 6,14 mm día⁻¹.

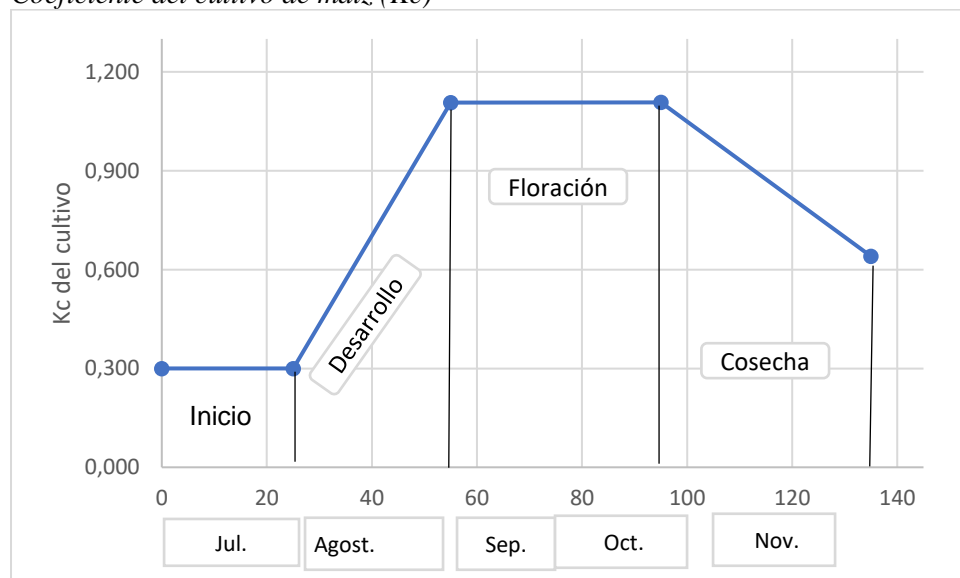
Tabla 9.
Evapotranspiración de referencia (ETo)

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETo (mm mes ⁻¹)	221	201,5	214,2	200,8	195,1	180,6	190,34	209,56	217,8	230,64	223,20	228,7
ETo (mm día ⁻¹)	7,13	7,20	6,91	6,69	6,29	6,02	6,14	6,76	7,26	7,44	7,44	7,38

6.4.2.3. Coeficiente del cultivo (Kc)

El Kc obtenido de FAO (2006) para las diferentes fases fenológicas se muestran en la Figura 5. Para el mes de julio, que corresponde a la etapa inicial, el Kc es de 0,30; para la etapa de crecimiento, que es en el mes de agosto, es de 0,70; para la etapa de desarrollo en los meses de septiembre y octubre, el Kc es de 1,107; para la etapa final en el mes de noviembre, el Kc es de 0,60. El cálculo del Kc se basa en la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración de referencia, que dependen de factores climáticos y edáficos.

Figura 5.
Coeficiente del cultivo de maíz (Kc)



Fuente: FAO (2006)

Elaborado: Autor

6.4.2.4. Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La Tabla 10 presenta la evapotranspiración del cultivo de maíz, en la que se puede observar que el mayor índice de requerimiento hídrico corresponde al mes de octubre, con 8,27 mm día⁻¹ y, el menor índice es en julio con 4,75 mm día⁻¹. Cabe mencionar que se tomó en cuenta, solo el periodo de cultivo donde el agricultor utiliza el sistema de riego (Julio a

noviembre), en vista de que el otro periodo es donde no se utiliza el riego, debido a que aprovecha la temporada invernal. Los meses de junio y diciembre no se obtiene valores, por motivo de que aquí solo se realizaran labores preculturales , que es al final de cada ciclo respectivamente.

Tabla 10.

Evapotranspiración del cultivo de maíz.

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETo (mm día ⁻¹)	7,13	7,20	6,91	6,69	6,29	-	6,14	6,76	7,26	7,44	7,44	-
Kc	0,30	0,704	1,11	1,11	0,64	-	0,30	0,704	1,11	1,11	0,64	-
ETc (mm día ⁻¹)	2,14	5,06	6,97	3,84	3,67	-	4,75	7,49	8,04	8,27	4,77	-

Elaborado por: El autor

6.4.2.5. Precipitación efectiva

Se obtuvo la precipitación efectiva máxima en la zona de estudio. Obteniendo para marzo valores de 349,72 mm mes⁻¹ y, en agosto y septiembre precipitaciones mínimas de 0 mm mes⁻¹, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11.

Precipitación efectiva.

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pe (mm mes⁻¹)	73,10	200,16	349,72	88,36	4,28	1,73	0,45	0,00	0,00	0,88	4,23	3,6
Pe (mm día⁻¹)	2,36	7,15	11,28	2,95	0,14	0,06	0,01	0,00	0,00	0,03	0,14	0,12

6.4.2.6. Requerimiento de riego para el cultivo de maíz.

En la Tabla 12 se pueden apreciar los requerimientos de riego en mm/día para el cultivo de maíz durante su ciclo de siembra, que abarca desde julio hasta noviembre. Se observa que el mes de octubre registra el valor más alto de ETc con 8,24 mm día⁻¹, lo que se traduce en la mayor necesidad bruta de riego para ese mes con 10,95 mm día⁻¹.

Siguiendo la metodología se obtuvo los valores de los requerimientos hídricos, como se observa en la Tabla 12, estos dependen de la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva. Como resultado los meses de septiembre y octubre tiene mayor requerimiento hídrico 8,04 y 8,21 mm día⁻¹ respectivamente, de igual forma cabe recalcar que para los primeros

meses no se toma en cuenta el riego en vista de que el agricultor aprovecha en estos meses la temporada invernal.

Tabla 12.
Requerimientos de riego para el cultivo de maíz.


REQUERIMIENTOS DE RIEGO												
Parámetros	Periodo 2000-2015											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
E _{Tc} (mm día ⁻¹)	2,14	5,06	6,91	3,84	3,67	-	4,75	7,49	8,04	8,27	4,77	-
K _c (mm día ⁻¹)	0,30	0,704	1,107	1,107	0,614	-	0,30	0,704	1,107	1,107	0,614	-
P _e (mm día ⁻¹)	2,36	7,15	11,28	2,95	0,14	-	0,01	0,00	0,00	0,03	0,03	-
N _r (mm día ⁻¹)	-	-	-	0,89	3,53	-	4,74	6,786	8,04	8,25	4,74	-
Eficiencia del sistema (%)	75	75	75	75	75	-	75	75	75	75	75	-
N _B (mm día ⁻¹)	-	-	-	1,18	4,70	-	6,32	9,048	10,72	11	6,32	-

6.4.2.7. Selección del emisor a utilizar

La Tabla 13 muestra el modelo y las características del emisor que utiliza el sistema de riego actual del agricultor. El mismo modelo se conserva para la propuesta de rediseño, con el fin de reducir los costos al agricultor en el momento de realizar la instalación del sistema rediseñado. Este emisor tiene un caudal de 740 l h⁻¹, un diámetro de humedecimiento de 24 m y un marco de riego de 12 m x 12 m. Estas características permiten obtener un 100 % de traslape entre aspersores y una buena uniformidad de riego.

Tabla 13.*Características del emisor seleccionado*

Modelo	Q (l h ⁻¹)	D (m)	Cobertura (°)	Espaciamientos laterales (m)	Espaciamiento emisor (m)
Naandajain 5022 SD, boquilla azul	740	24	360	12	12


6.4.2.8. Datos del suelo para el rediseño

El diseño agronómico del sistema de riego requiere conocer las características del suelo de la finca Los Manzanos. En la Tabla 14 se muestran los datos obtenidos mediante análisis de laboratorio, donde se observa que el suelo tiene una textura de franco arcillo arenoso y una velocidad de infiltración de 31,29 mm h⁻¹. Los métodos empleados para determinar la textura y la infiltración se detallan en los anexos 8 y 9, respectivamente.

Tabla 14.*Características hidrofísicas del suelo*

Textura	CC (%)	PMP (%)	Da (g cm ⁻³)	Profundidad (m)	Velocidad de infiltración (mm h ⁻¹)
Franco arcillo arenoso	26	13	1,40	0,80	31,29

6.4.2.9. Cálculos del diseño agronómico

El diseño agronómico del sistema de riego de la finca Los Manzanos se basa en los parámetros obtenidos previamente. La Tabla 15 muestran los resultados, donde se observa el intervalo de riego que es de cada 6 días con 4 horas de riego por turno, aportando una lámina de riego de 54,73 mm y un dosis de riego de 729,73 mm³ ha⁻¹. El cálculo del diseño de agronómico se detalla en el anexo 12.

Tabla 15.*Resultados del diseño agronómico*

Datos	Símbolo	Valor	Unidades
Lámina disponible	LDzr	145,6	mm/zr
Volumen disponible	VDzr	1456	m ³ /ha/zr
Lámina aprovechable	LAzr	58,24	mm/zr
% del área bajo riego	Par	100,00	%
Tabla 3.4 Comparación Par	$\frac{3}{4}$ MxAR		
Tabla 3.4 Comparación Par	MxAR		
Precipitación horaria	Phr	5,14	mm/h
Comparación Phr	Phr ≤ Ib	ACEPTADO	
Evapotranspiración cultivo	Etc	9,12	mm/día

Intervalo de riego	Ir	6,38	días
Intervalo Ajustado	Ir(aj)	6	días
Ciclo de riego	CR	4	días/ciclo
Lámina riego ajustada	Lr(aj)	54,73	mm
Comparación Lr(aj)	$Lr(aj) \leq LAzr$	ACEPTADO	mm
% agua aprovechada ajustada	Pa(aj)	37,59	%
Comparación Pa(aj)	$Pa(aj) \leq Pa$	ACEPTADO	
Lámina bruta	LB	72,97	mm
Dosis bruta	DB	729,73	m3/ha
Horas de riego por turno	Ht	14,20	h/turno
Turnos por día	Td	1,00	Turno/día
Horas de riego por día	Hd	2	h/día
Horas por ciclo	Hc	8,00	h/ciclo
Turnos por ciclo	Tc	4,00	turnos/ciclo
Superficie por turno	St	0,300	ha/turno
Dosis bruta por turno	DBt	218,92	m3/turno
Caudal requerido en el sistema de riego	Qr	15,42	m3/h
Comparación $Qr \leq Qs$	Qr	ACEPTADO	
# emisores por turno	Emt	18	e/turno
Volumen bruto por ciclo	VBc	875,68	m3/ciclo
Caudal específico	Qe	8,56	m3/ha/h

6.4.3. Diseño hidráulico

El sistema de riego aspersión tiene dos subunidades que operan en diferentes momentos. Cada subunidad tiene un número de laterales con aspersores con un marco de riego de 12 m x 12 m. La subunidad 1 tiene 5 laterales con un total de 28 aspersores, de igual forma la subunidad 2 tiene 5 laterales con un total 25 emisores. El caudal de diseño para la tubería principal es de $5,55 \text{ l s}^{-1}$. Las Tablas 16 y 17 muestran los resultados del diseño hidráulico (ver Anexo 13 cálculo del diseño hidráulico).

6.4.3.1. Diseño de la tubería lateral y secundaria de riego

El diseño de las tuberías laterales de riego se realizó para los módulos 1 y 2, considerando los siguientes parámetros: longitud de 92 y 90 m respectivamente, diámetro nominal de 50 mm, presión de trabajo de 0,25 MPa y caudal de 1,23 l/s. Se calculó la velocidad del agua en las tuberías, obteniendo un valor de 1,89 m/s. También se estimó la pérdida de carga por fricción, que resultó ser de 1,17 mca para el primer módulo mientras que para el segundo 4,77 mca. Finalmente, se determinó la presión requerida en cada módulo, que fue de 27,68 m para el primer módulo y para el segundo 29,33.

La tubería secundaria del módulo 1 (Tabla 16) tiene una longitud de 50 m, un diámetro nominal de 63 mm y un caudal de 5,55 l/s. Estos valores generan una velocidad de agua de 1,98 m/s, una presión requerida de 27,68 m y una pérdida por fricción de 1,17 mca. Por otro lado, la tubería secundaria de la subunidad 2 (Tabla 17) tiene una longitud de 140 m, un diámetro nominal de 63 mm y un caudal de 5,55 l/s. Estos valores producen una velocidad de agua de 1,84 m/s, una presión requerida de 29 m y una pérdida de carga de 1,17 mca..

Tabla 16.
Módulo de riego 1

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área de la unidad de riego	A	m ²	
Presión del emisor	PN	mca	25
Caudal del emisor	Qe	l/h	0,2055
Pérdida de carga máxima admisible	h máx	m	3,75
Lateral de riego			
Longitud	LI	m	92
Caudal	QI	l/s	1,23
Pérdida de carga	Hf	m	2,38
Velocidad del agua	V	m/s	1,89
Presión requerida en la entrada	Po	m	27,68
Presión al final	Pu	m	25,51
Tuberías secundarias de riego			
Longitud	LI	m	50
Caudal	QI	l/s	5,55
Pérdida de carga	Hf	m	1,17
Velocidad del agua	V	m/s	1,98
Presión requerida en la entrada	Po	m	27,68

Tabla 17.
Módulo de riego 2

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área de la unidad de riego	A	m ²	
Presión del emisor	PN	mca	25
Caudal del emisor	Qe	l/h	0,2055
Pérdida de carga máxima admisible	h máx	m	3,75
Lateral de riego			
Longitud	LI	m	90
Caudal	QI	l/s	1,23
Pérdida de carga	Hf	m	4,77
Velocidad del agua	V	m/s	1,89
Presión requerida en la entrada	Po	m	29,33
Presión al final	Pu	m	25,06

Tuberías secundarias de riego			
Longitud	LI	m	140
Caudal	QI	l/s	5,55
Pérdida de carga	Hf	m	3,29
Velocidad del agua	V	m/s	1,98
Presión requerida en la entrada	Po	m	27,64

6.4.3.2. Diseño de la tubería principal

En la Tabla 18 se presenta el diseño de la tubería principal, de material PVC con longitud de 110 m, diámetro nominal 63 mm, presión nominal 1,25 MPa, por donde fluye un caudal de 5,55 l/s, con pérdidas de carga de 3,29 mca y una velocidad del agua igual a 1,48 m/s que se encuentran dentro del rango normal. Así mismo, la carga dinámica total del sistema de riego por aspersión es de 14,83 mca.

Tabla 18.

Diseño de la tubería principal.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Longitud	LI	m	110
Caudal	QI	l/s	5,55
Pérdida de carga	Hf	mca	3,29
Velocidad del agua	V	m/s	1,48
Carga dinámica Total	CDT	mca	13,92

6.5. Costos del sistema de riego

En la Tabla 19 se muestra el presupuesto de materiales y accesorios del sistema de riego por aspersión para la finca, el cual tiene un costo \$ 3401,92 para 1,2 ha que abarca todo el sistema de riego.

Tabla 19.

Presupuesto para el sistema de riego por aspersión.

RUBRO	CANT.	U	PRECIO	TOTAL
Tubería principal				
Tubo PVC 63 mm x 1,25 Mpa x 3 m	60		9	540

Adaptador macho 63 mm	1	4,60	4,60
Tapon hembra 63 mm	1	0,90	0,90
Tee reductora PVC 63 mm x 50 mm	1	2,40	2,40
		Subtotal	547,90
Tubería secundaria			
Tubo PVC 50 mm x 1,25 Mpa x 6 m	31	12,90	399,9
Codo 50 mm x 90°	1	0,85	0,85
Tee PVC 50 mm	1	2,40	2,40
Adaptador macho de 50	2	3,46	6,92
Tapon hembra PVC 50 mm	2	0,46	0,92
Valvula ER bola 50 mm	2	8,43	16,86
		Subtotal	427,85
Laterales			
Tubo PVC 32 mm x 6 m	127	7,42	938,63
Tee reductora de 50 mm x 32 mm	10	1,05	10,50
Collarines 32mm	53	1,46	77,38
Codos 32 x 45°	10	1,11	11,10
Adaptador macho 32	53	0,69	36,57
Tapa hembra 32	53	0,59	31,27
		Subtotal	1 105,45
Aspersores			
Aspersores	53	16,24	860,72
Tubo PVC 25 mm * 6m	18	3,39	61,02
Adaptador hembra 25 mm	53	0,25	13,25

			Subtotal	934,99
Cabezal de riego				
Codo 63 mm x 90	4	4,14	16,56	
Valvula compuerta 63 mm	1	82	82	
Mamómetro de glicerina	1	15	15	
Filtro 120 mesh x 63mm	1	23,34	23,34	
Adaptador macho x 63 mm	3	4,60	13,8	
Unión universal 63 mm	1	20,60	20,60	
Adaptador hembra 63 mm	2	6,13	122,6	
			Subtotal	293,9
Accesorios				
Polipega galon	1	54,49	54,49	
Polilimpia	1	32,94	32,94	
Teflón	4	1,10	4,40	
			Subtotal	91,83
Precio Total				3401,92

7. Discusión

7.1. Caracterizar el sistema de riego por aspersión del barrio saucecito finca los manzanos.

Luego de recorrer todo el sistema de riego, se procedió a identificar y caracterizar los componentes del mismo. Se constató que la finca Los Manzanos cuenta con todos los elementos indispensables para su correcto funcionamiento, incluyendo una fuente de agua, una bomba de impulsión como fuente de energía, red principal, red secundaria, red terciaria o laterales, así como aspersores y otros accesorios esenciales para su operación. Esto está en concordancia con lo indicado por (Kühl, 1999), (Alocén, 2007) y (CONGOPE, 2017) quienes afirman que para que un sistema de riego por aspersión funcione correctamente es necesario contar con estos componentes, de igual manera Arcas (2016) afirma que el mantenimiento preventivo del sistema de riego por aspersión es fundamental para garantizar su correcto

funcionamiento. Además, menciona que se debe realizar una inspección periódica de todos los componentes del sistema, como tuberías, válvulas, aspersores y filtros, para detectar y reparar posibles averías o fallos que puedan afectar al rendimiento o la eficiencia del riego. De esta manera, se evitan pérdidas de agua, daños en los cultivos y costes innecesarios, cosa que en el sector no se ha venido realizando, lo que puede ser una de las razones del deterioro y la baja uniformidad y eficiencia de riego.

7.2. Determinar la eficiencia y uniformidad del sistema de riego bajo el manejo actual que realiza el agricultor.

Los resultados de las pruebas de campo para evaluar el sistema de riego muestran un bajo rendimiento en términos de eficiencia y uniformidad. El sistema tiene una eficiencia del 27,39%, desglosada en 75 % de eficiencia de conducción, 83 % de eficiencia de distribución y 44 % de eficiencia de aplicación. Estos valores muestran un coeficiente de uniformidad del 34,72 %, lo cual, es considerado inaceptable según los estándares de calidad bajo las normas (Fernández, et al., 2010).

Dos factores principales podrían explicar el bajo rendimiento del sistema. El primero es la colocación de las laterales de riego en sentido contrario a la pendiente, que afecta la presión y por ende, la distribución del agua al cultivo y la eficiencia. El segundo es la variación en los marcos de riego, que oscilan entre 11 m x 15 m y 11 m x 14 m, tampoco se ha considerado en el diseño inicial el traslape del diámetro de riego, lo que estaría provocando una distribución desigual del agua y reduciendo la eficiencia de aplicación. Además, se constató que el productor quitaba las boquillas de los aspersores al regar, lo que también incide negativamente en las eficiencias.

Estos resultados concuerdan con investigaciones previas realizadas por, Flórez-Tuta et al. (2013), donde encontraron que los coeficientes de uniformidad son mejores cuando los marcos de riego son uniformes, específicamente en dimensiones de 6 m x 6 m, logrando un coeficiente del 70%. También destacan que a medida que los marcos de riego son más grandes y menos uniformes, el coeficiente disminuye hasta un 40%, lo que afecta la eficiencia de aplicación.

Por su parte, Peñafiel et al. (2020) y Cisneros et al. (2014) también coinciden en que el marco de riego influye en el coeficiente de uniformidad y la eficiencia de distribución del agua. Según estos autores, un marco de riego uniforme permite obtener mejores resultados que uno

no uniforme. Estos resultados contribuyen a tomar la decisión de realizar mejoras en el sistema de riego evaluado en esta investigación, ya que presenta coeficientes de uniformidad bajos debido a la falta de uniformidad en el marco de riego. Así mismo, Faria (2015) afirma que la eficiencia del riego por aspersión puede ser baja, debido a que la aplicación del agua no se ajusta a las necesidades de las plantas, y que en el diseño del sistema no consideran la uniformidad del riego, lo que provoca una distribución irregular del agua. Estos datos concuerdan con los resultados de la presente investigación, que muestra una baja eficiencia debido al marco de riego irregular. Khalili (2014) también llevó a cabo una investigación sobre la evaluación de la eficiencia de los sistemas de riego por aspersión y encontró que era baja debido al uso simultáneo de muchos aspersores sin tener en cuenta la presión de operación. Este problema se relaciona con la presente investigación, ya que el agricultor no cuenta con un diseño hidráulico adecuado para manejar el sistema de forma óptima y utiliza los emisores según su criterio, lo que genera una presión desigual y como resultado, una baja eficiencia.

7.3. Realizar un plan de operación y mantenimiento para alcanzar la mayor eficiencia del sistema de riego.

El plan de operación y mantenimiento es un documento que establece las acciones necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de riego por aspersión, así como para prolongar su vida útil. Según Mora (2016), un plan de operación y mantenimiento preventivo permite mantener los componentes del sistema en óptimas condiciones y evitar fallas o daños que afecten su rendimiento. Asimismo, Lutina (2017) indica que un plan de operación y mantenimiento adecuado evita gastos innecesarios a futuro, ya que el productor puede detectar y corregir a tiempo cualquier anomalía en su sistema. El plan de operación y mantenimiento puede ser de tres tipos: rutinario, que se realiza durante los ciclos de riego; preventivo, que se realiza al inicio de cada ciclo de riego; o emergente, que se realiza cuando el sistema de riego requiere una intervención urgente.

8. Conclusiones

- El sistema de riego de la finca “Los Manzanos” cuenta con todos los componentes necesarios para garantizar la operación, distribución del agua en el cultivo, tales como bombas, tuberías, válvulas, aspersores, accesorio, entre otros. Pero deja ver claramente que hay un deterioro en los mismos.
- El sistema de riego por aspersión de la finca “Los Manzanos” cuenta con los componentes necesarios para su funcionamiento adecuado. Sin embargo, su eficiencia y uniformidad son bajas debido a varios factores que afectan su desempeño, tales como: marcos de riego irregulares, laterales de riego dispuestos en sentido contrario a la pendiente, uso inadecuado de los aspersores según el catálogo, fugas en las tuberías y exposición de las mismas a las condiciones climáticas.
- Para mejorar el uso y la durabilidad del sistema, se elaboró un manual de operación y mantenimiento que el operador debe seguir. Además, se propuso un rediseño de riego que optimiza la uniformidad y eficiencia del riego, el cual se recomienda al productor de la finca para obtener mejores resultados.
- Con la propuesta de rediseño se pretende alcanzar una eficiencia y uniformidad hasta 75 %, además el valor de este rediseño es de 3401,92 dólares.

9. Recomendaciones

- Se recomienda no alterar las condiciones de uso de los emisores ya que el agricultor extrae las boquillas del mismo. Esto puede provocar daños en los emisores y afectar el caudal y la presión del agua. Además, se puede generar un desperdicio de agua y una menor eficiencia del riego.
- Realizar estudios de evaluación de la eficiencia del sistema y revisar de manera periódica las fugas existentes en las tuberías y dar solución a estas. Ya que pueden ocasionar pérdidas de agua y disminuir la uniformidad y la eficiencia del riego.
- También es necesario realizar estudios de riego relacionados con la salinización y erosión del suelo. Para evitar el deterioro de los suelos por un exceso de riego.
- Realizar un mantenimiento adecuado de las tuberías y reparar o reemplazar las que estén dañadas.
- Realizar la reinstalación del sistema de riego para que con esto mejore la uniformidad y eficiencia de dicho sistema, lo que implica ajustar la disposición y el espaciamiento de los emisores, así como la presión y el caudal del agua.

10. Bibliografía

- Agraria.pe. (2021, noviembre 30). *Riego presurizado: un sistema que mejora la calidad y cantidad de los productos en la agricultura*. agraria.pe agencia agraria de noticias. <https://agraria.pe/noticias/riego-presurizado-un-sistema-que-mejora-la-calidad-y-cantida-26222>
- Alocén, J. C. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. 218.
- Antunez B, A., Felmer E, S., & Mora L, D. (2009). *Eficiencia de riego en sistemas localizados*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7279>
- 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>
- Barreto, P. (2009). *Instructivo de medición de caudal*. https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/INSTRUCTUVO_DE_MEDICION_DE_CAUDAL.pdf
- Blanquer, G., Manuel, J., Asensio, I., & Ramón, M. (2010). *La textura de un suelo*. 8.
- Bohórquez, M. (2014). *Evaluaciones de riego por aspersión. procedimiento y formulario*. <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/5fe91407-2dc2-4d84-997c-bbe21afbf596>
- Chamba, D., (2020). “Caracterización hidráulica del riego por goteo a partir de ensayos en ramales y unidades para su proyecto y gestión económica”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Cisneros. (2003a). *Apuntes de riego y drenaje v—universidad autonoma de san luis potosi facultad de ingenieria centro - Studocu*.

<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-agraria-la-molina/fundamentos-del-riego/apuntes-de-riego-y-drenaje-v/11412559>

Cisneros, E., Gonzáles, Á., & Jiménez, E. (2014). *Evaluation and proposal of action to carried out, in different*. 4(1).

Cisneros, R. (2003b). *Riego y drenaje*.
<http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego%20y%20Drenaje.pdf>

Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador CONGOPE. (2017). *Hablemos de riego*.

Cruz Tun Dzul, J. de la, Ramírez Jaramillo, G., Sánchez Cohen, I., Lomas Barrié, C. T., & Cano González, A. de J. (2011). Diagnóstico y evaluación de sistemas de riego en el distrito 048 Ticul, Yucatán. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(SPE1), 5-18.

Delgadillo, O., Jiménez, J., & Rojas, C. (2011). *Evaluación del riego por aspersión en parcela*. 39.

Delgadillo, O., & Pérez, L. (2016). *Medición de la infiltración del agua en el suelo*. 34.

Demin, P. E. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*. 24.

Duque, L. (2009). *Determinacion de la curva | pdf | precipitación | permeabilidad (ciencias de la tierra)*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/361112654/Dterminacion-de-La-Curva>

Fernández, R., Milla, M., Ávila, R., Berengena, J., Gavilán, P., & Oyanarte, N. (2010). *Manual de riego para agricultores Módulo 2. Riego por superficie*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca.

Fernández, R., Oyanarte, N., Garcia, J., Yruela, M., Milla, M., Ávila, R., & Gavilán, P. (2010). *Manual de riego para agricultores módulo 3: riego por aspersión*.
https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersixn.pdf

- Flores, J. (2016, noviembre 28). Avances en la tecnificación del riego por gravedad. *hortalizas*.
<https://www.hortalizas.com/irrigacion/avances-en-la-tecnificacion-del-riego-por-gravedad/>
- Flórez-Tuta, N., Zution-Gonçalves, I., Feitosa, D. R.-C., Agnellos-Barbosa, E. A., Deus, F. P., Diego-Ribeiro, M., & Eiji-Matsura, E. (2013). Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión. *Agrociencia*, 47(2), 107-119.
- González, J. M. F. (2011). *La programación del riego por aspersión*. 5.
- Guamán, M. (2021). *Diseño de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de maíz (Zea mays) en el predio agrícola "El Almendro" del barrio La Vega, parroquia y cantón Catamayo, provincia de Loja* [Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23904/1/Maribel%20Andreina%20Guam%C3%A1n%20Zhingre.pdf>
- ICC. (2017). *Manual de medición de caudales*. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>
- INIA. (2015). *El suelo*.
<http://inia.uy/Documentos/P%C3%ABAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/El%20Suelo%20de%20mayo.pdf>
- Jiménez. (2015, agosto 20). *Ventajas de los sistemas de riego presurizados*.
<https://www.hidraulicafacil.com/2015/08/VSRP.html>
- Kühl, H. E. V. (1999). *El riego por aspersión*.
https://www.academia.edu/31503904/El_Riego_por_Aspersi%C3%B3n
- Ladino, S., Delgado, E., & Arias, N. (2021). *Evaluación de sistemas de riego por superficie y aspersión en cultivos de palma de aceite*.

- <https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/141294/Sistema%20de%20riego%20Cenipalma%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Liotta, M., & Olguin, A. (2015). *Riego por goteo*. <https://inta.gob.ar/documentos/riego-por-goteo>
- Mendoza, Y. (2019, enero 25). Sistema de riego por aspersión, ventajas, desventajas, requisitos y más. *Agronomía*. <https://deagronomia.com/drenaje/sistema-de-riego-por-aspersion/>
- Naroua, I., Sinobas, L. R., & Calvo, R. S. (2012). *Evaluación de los sistemas de riego por aspersión en la Comunidad de Regantes “Río Adaja” y propuestas para la mejora del manejo del riego*. 11.
- Núñez, A. (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf
- Oviedo, A., & Liotta, M. (2013). *Riego por goteo en olivo*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_hoja_informativa_riego_por_goteo_olivo-_julio_.pdf
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial PDyOT-Loja. (2019). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Loja*.
- PDyOT-Mangahurco. (2019). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Mangahurco*.
- PDyOT-Zapotillo. (2019). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón zapotillo*.
- Peñañiel, M. A. P., Serrano, G., & Ortuño, L. H. (2020). Evaluación de la uniformidad de aplicación acorde al comportamiento hidráulico en el riego por aspersión empleado al cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en la Estación Experimental de Cota Cota: Evaluation of the uniformity of application according to the hydraulic behavior in the

irrigation by aspersion used to the crop of potato (*Solanum tuberosum*) in the Experimental Station of Cota Cota. *Apthapi*, 6(3), 2044-2056.

Pereira, L., Valero, J., Picornell, M., & Tarjuelo, J. (2010). *El riego y sus tecnologías*.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55493635/El_Riego_y_sus_Tecnologias-with-cover-page-

[v2.pdf?Expires=1653690176&Signature=OiI13t52ZX7DYnm2fNzcRbFO9VFVTBK](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55493635/El_Riego_y_sus_Tecnologias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653690176&Signature=OiI13t52ZX7DYnm2fNzcRbFO9VFVTBK)

[ONE-FtV6f3xngLajP51g~wOW6pDR1GT70zRDOy-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55493635/El_Riego_y_sus_Tecnologias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653690176&Signature=OiI13t52ZX7DYnm2fNzcRbFO9VFVTBK)

[ZYCJIws3xuCN8Qb7QBpxgvQ3z5jdilk9VnIBP2TJEYys~n5ijd3Xau472D1u0v3SA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55493635/El_Riego_y_sus_Tecnologias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653690176&Signature=OiI13t52ZX7DYnm2fNzcRbFO9VFVTBK)

[HVMKWwhhaJ7mDaeBpH5D9M7UrwM9WQ0AQYvu9~ZZb89tOwOOoHKU73v4](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55493635/El_Riego_y_sus_Tecnologias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653690176&Signature=OiI13t52ZX7DYnm2fNzcRbFO9VFVTBK)

[mcccHg0oDE5eCt6FZiDCwzbLtuRpTgAOEhvENc8CJo5P5fhQAb9qK-6IQaN8-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55493635/El_Riego_y_sus_Tecnologias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653690176&Signature=OiI13t52ZX7DYnm2fNzcRbFO9VFVTBK)

[LCL6z4M002dMmzN8eUXiDidiQTajhS-WT0fauL4VICDRC-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55493635/El_Riego_y_sus_Tecnologias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653690176&Signature=OiI13t52ZX7DYnm2fNzcRbFO9VFVTBK)

[7ODDpBLWW07B8U2~4yxAxBQXYWpTquY8OqKhiW3qVc02A__&Key-Pair-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55493635/El_Riego_y_sus_Tecnologias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653690176&Signature=OiI13t52ZX7DYnm2fNzcRbFO9VFVTBK)

[Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55493635/El_Riego_y_sus_Tecnologias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653690176&Signature=OiI13t52ZX7DYnm2fNzcRbFO9VFVTBK)

Pérez-Leira, R., Domínguez-Gutiérrez, J., Pérez-Leira, R., & Domínguez-Gutiérrez, J. (2019).

El régimen de riego para cultivos en Manabí, Ecuador: Propuesta para cinco cultivos permanentes. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(4).

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-

[00542019000400006&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542019000400006&lng=es&nrm=iso&tlng=en)

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Loja-PDOT-Loja. (2019).

Redondo, M. A. M. (2016, julio 5). *Juego de presiones en riego por aspersion* [Text]. iAgua;

iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/juego-presiones-riego-aspersion>

Santacruz de León, G., & Santacruz de León, E. E. (2020). Evaluación del desempeño del riego

por aspersion en lotes con cultivo de banana en Chiapas, México. *Siembra*, 7(2), 001-

013. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.1712>

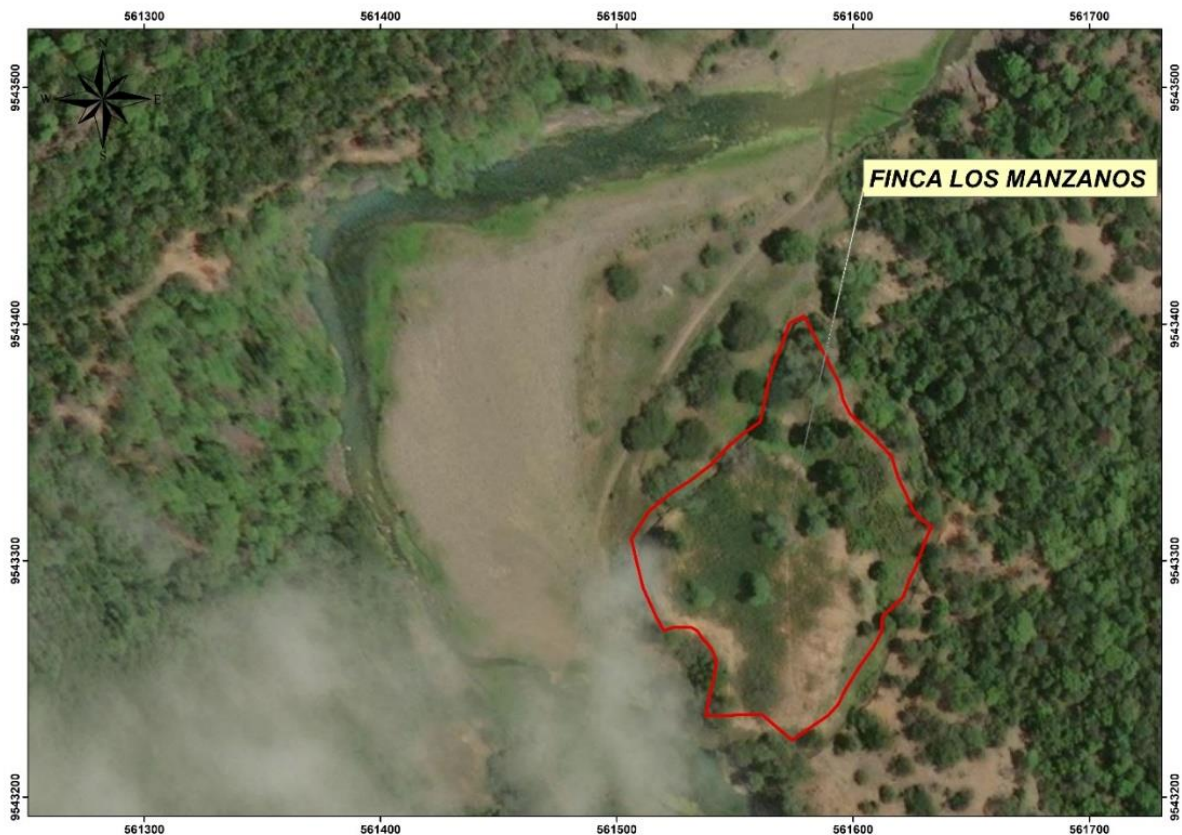
Silva, H., Silva Candia, P., Garrido Salinas, M., & Acevedo Hinojosa, E. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/130642>

Tarjuelo, J. (2005). *El riego por aspersión*. https://ruralcat.gencat.cat/migracio_resources/633281_tarjuelo.pdf

Zilio, J. (2015). *Aspectos de calidad de suelos representativos del sur de la provincia de Buenos Aires y efectos de la actividad agropecuaria sobre la misma*.

11. Anexos

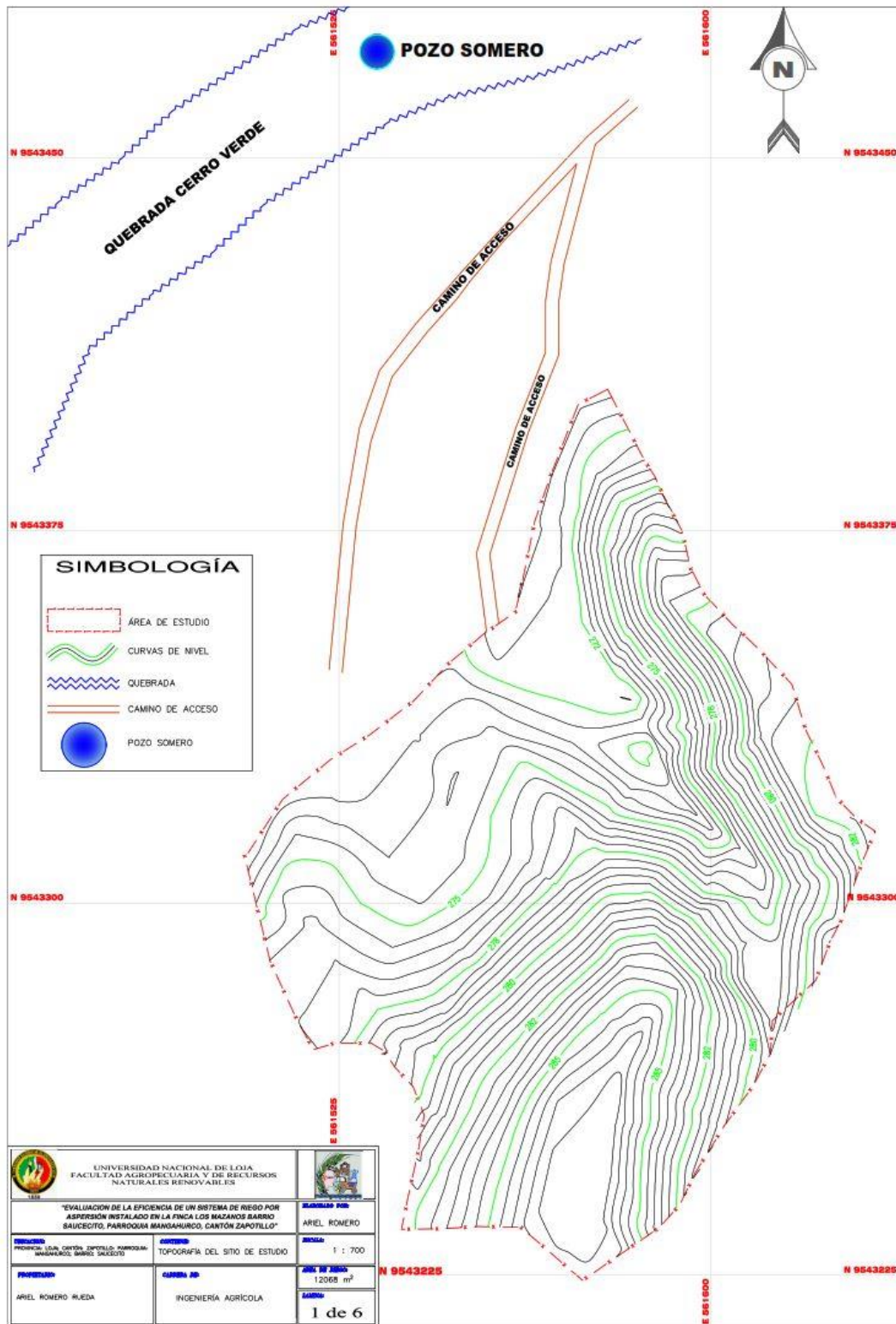
Anexo 1. Plano de la finca los Manzanos.



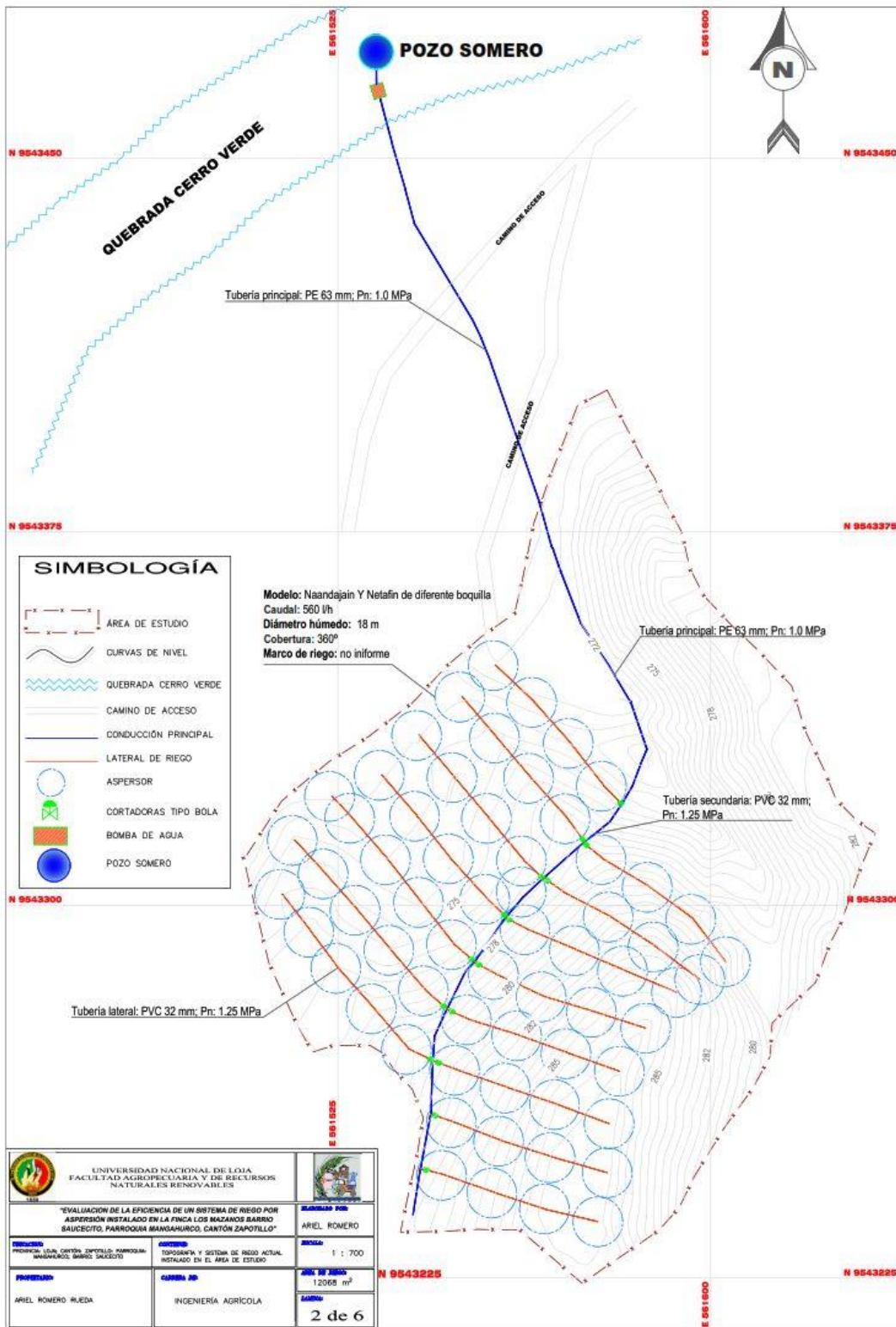
Anexo 2. *levantamiento del sistema de riego y de la finca.*



Anexo 3. Topografía del terreno



Anexo 4. Topografía y diseño de riego



Anexo 5. Evaluación de Uniformidad y Distribución de riego.



Anexo 6. Datos de la Uniformidad de Riego.

Vaso	volumen (cm3)
x1	130
x2	275
x3	240
x4	120
x5	290
x6	200
x7	90
X8	200
X9	415
X10	105
X11	190
X12	130
X13	115
X14	80
X15	220
X16	300
X17	125
X18	300
X19	240
X20	170
X21	335
X22	300
X23	280
X24	220
X25	250

X26	390
X27	210
X28	150
Promedio	252,6
Volumen	
Promedio	109,3
V25%	

Cálculo del coeficiente de uniformidad de riego.

$$CU_z = 100 \times \frac{V_{25\%}}{V_m}$$

$$CU_z = 100 \times \frac{109,3}{252,6}$$

CU_z = 43,26 %

Para el cálculo del coeficiente de uniformidad, se procedió a calcular la con la siguiente de fórmula:

$$CU = CU_z \frac{1 + 3 \times \sqrt{\frac{P_{min}}{P_m}}}{4}$$

$$CU = 43,26 * \frac{1 + 3 * \sqrt{\frac{0,562}{0,8728}}}{4}$$

CU = 34,72 %

Anexo 7. Cálculo de la eficiencia del sistema de riego.

$$ESR = EC * ED * EA$$

➤ **Eficiencia de conducción**

$$Ec = \frac{Q_f + \sum Q_i}{Q_e} * 100$$

$$Ec = \frac{1,7 + (1,15)}{3,8} * 100$$

Ec = 75 %

➤ **Eficiencia de distribución**

$$ED = \frac{Q_{fd} + \sum Q_i}{Q_e} * 100$$

$$ED = \frac{1,2 + 0,95}{2,8} * 100$$

$$ED = 83 \%$$

➤ **Eficiencia de aplicación**

$$EA = \frac{V_{25\%}}{V_a} * 100$$

$$EA = \frac{109,3}{252,6} * 100$$

$$EA = 44,26$$

$$ECR = ED * EC * EA$$

$$ECR = (0,75 * 0,83 * 0,44)$$

$$ECR = 27,39$$

Anexo 8. Prueba de infiltración.



Anexo 9. Datos de la prueba de infiltración.

Tiempo (min)	T. Acum (min)	Lami. Infiltr (cm)	lami. Inf. Acum (cm)	V.Inf. Insta (cm/min)
5	5	0,6	0,6	0,09
5	10	0,3	0,9	0,08

5	15	0,4	1,3	0,07
5	20	0,4	1,7	0,07
5	25	0,3	2,0	0,07
5	30	0,5	2,5	0,07
5	35	0,2	2,7	0,06
5	40	0,4	3,1	0,06
5	45	0,4	3,5	0,06
5	50	0,3	3,8	0,06
5	55	0,2	4,0	0,06
5	60	0,3	4,3	0,06
10	70	0,7	5,0	0,06
10	80	0,6	5,6	0,06
10	90	0,4	6,0	0,05
10	100	0,5	6,5	0,05
10	110	0,5	7,0	0,05
10	120	0,6	7,6	0,05
15	135	0,7	8,3	0,05
15	150	0,7	9,0	0,05
15	165	1	10,0	0,05
15	180	0,6	10,6	0,05
30	210	0,8	11,4	0,05
30	240	1	12,4	0,05
		1,2	13,6	

Anexo 10. *Velocidad de infiltración en la finca.*

$$I \text{ cum} = A t^B$$

$$A = 0,1497$$

$$B = 0,8181$$

$$Inf \text{ inst} = A B t^{(B-1)} = a t^b$$

$$a = 0,12246957 \text{ cm/min}$$

$$b = -0,1819$$

$$\text{Para } I \text{ bas: } \frac{dI}{dt} = -0.1 I; \text{ (t en horas)}$$

$$t \text{ bas} = -10 \quad b = 1,819$$

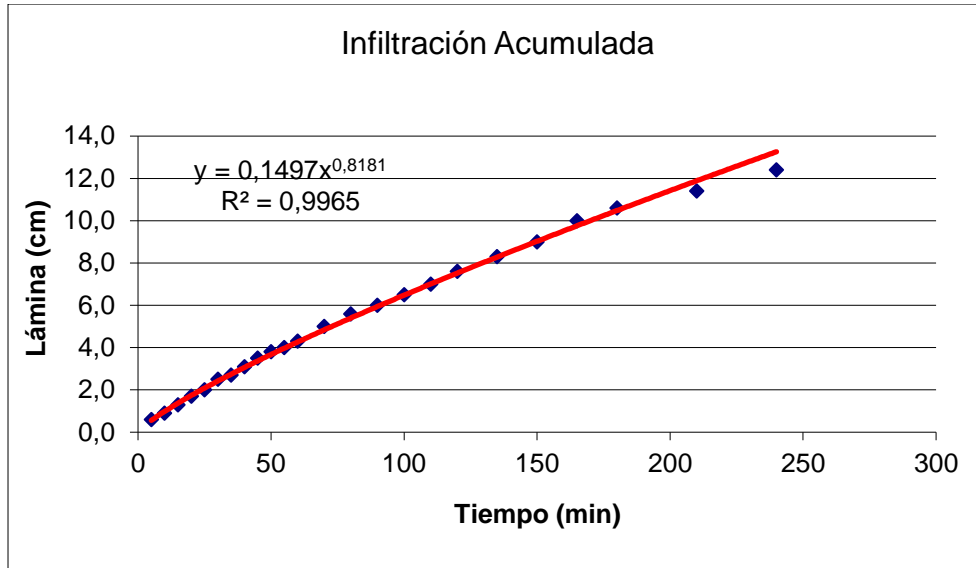
$$\text{en min} \quad 109,14$$

$$Inf \text{ bas} = 0,052 \text{ cm/min}$$

$$Inf \text{ bas} = 3,12 \text{ cm/hor}$$

$$Inf \text{ bas} = 31,29 \text{ mm/hor}$$

Velocidad de infiltración = **Media**



Anexo 11. Determinación de Textura.



Anexo 12. Cálculo de textura

	1° Lectura	T°	2° lectura	T °
M1	20	18	8	18
M2	22	18	11	18

MUESTRA 1

$$A_o = 100 - (1^\circ \text{lectura} * 2)$$

$$A_o = 60$$

$$A_c = 2^\circ \text{lectura} * 2$$

$$A_c = 16$$

$$L_o = 100 - (A_o + A_c)$$

$$L_o = 24$$

Franco Arenoso

Muestra 2

$$A_o = 100 - (1^\circ \text{lectura} * 2)$$

$$A_o = 56$$

$$A_c = 2^\circ \text{lectura} * 2$$

$$A_c = 22$$

$$L_o = 100 - (A_o + A_c)$$

$$L_o = 22$$

Franco Arcillo arenosa

Anexo 13. Cálculos del diseño agronómico.

Datos para el cálculo de las necesidades de riego

Cultivo: Maíz	
DATOS DE CLIMA	
Eto (mm/día):	8,24
n/N:	
Humedad relativa mínima (%):	73,56
Precipitación efectiva:	0,00
Velocidad del viento >3 m/s:	3,70
DATOS DE LA PARCELA	
Área bruta A (ha):	1,80
Área neta bajo riego Sr (ha):	1,20
Espaciamiento entre plantas dp (m):	0,40
Espaciamiento entre hileras dh (m):	0,80
DATOS DE LA FUENTE AGUA	
Caudal (m³/h) Qs:	40
Disponibilidad:	S/limitación
DATOS DE CULTIVO	
Nombre:	Maíz grano
Fase:	Media
Kc:	1,11
% área bajo riego Par de:	100,00
a:	100,00
DATOS DE RIEGO	
Método:	Aspersión
Eficiencia (%) Ef:	75
Modelo del emisor:	5022 SD NAANDANJAIN, Boquilla Azul
Presión de Operación (atm):	2,5

Caudal del Emisor q (l/h):	740
Diámetro efectivo d (m):	24
Angulo de cobertura α (°):	360
Espaciamiento entre emisores de (m):	12
Espaciamiento entre laterales dl (m):	12
Número de emisores por planta Nep:	0
Máximas horas de operación-por día Hm (h):	6
Días de paro/ciclo:	0
DATOS DEL SUELO	
Textura:	Franco Arcillo Arenoso
HCC (%w):	26,00
HPM (%w):	13,00
Densidad p Peso específico aparente (gr/cm ³):	1,40
Velocidad de Infiltración b _{pasica} lb (mm/h):	31,29
Profundidad efectiva (m):	0,80

1. Necesidades de agua de los cultivos NAC

$$ET_c = E_{To} * K_c$$

$$ET_c = 8,24 * 1,11$$

$$ET_c = 9,12 \text{ mm/día}$$

2. Necesidades netas de riego

$$N_n = E_{tc}$$

$$N_n = 9,12 \text{ mm/día}$$

3. Necesidades totales

$$N_t = N_n / E_a$$

$$N_t = 9,12 / (75 * 100)$$

$$N_t = 12,16 \text{ mm/día}$$

5. La reserva de agua disponible RAD

$$RAD = (CC - PMP) * \text{Profundidad de las raíces}$$

$$RAD = (26 - 13) * (0,8 * 10)$$

$$RAD = 145,6 \text{ mm}$$

6. Reserva de agua fácilmente disponible RAFD

$$RAFD = RAD * f$$

$$RAFD = 145,6 * 0,4$$

$$RAFD = 58,24 \text{ mm}$$

7. Dosis neta de riego Dn

$$D_n = \text{RAFD}$$

$$D_n = 58,24 \text{ mm}$$

8. Dosis total de riego D_t

$$D_t = \frac{\text{Dosis neta } D_n}{\text{Eficiencia de aplicación } E_a}$$

$$D_t = \frac{58,24}{(75 * 100)}$$

$$D_t = 77,65 \text{ mm}$$

9. Lámina de agua disponible a la profundidad radicular efectiva - LD_{zr}

$$LD_{zr} = \text{RAD}$$

$$LD_{zr} = 145,6 \text{ mm}$$

10. Volumen de agua disponible a la profundidad radicular efectiva - VD_{zr}

$$VD_{zr} = LD_{zr} * 10$$

$$VD_{zr} = 145,6 * 10$$

$$VD_{zr} = 1456 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$$

11. Lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva - L_{azr}

$$L_{azr} = \frac{LD_{zr} * P_a}{100}$$

$$L_{azr} = \frac{145,6 * 40}{100}$$

$$L_{azr} = 58,24 \text{ mm}$$

12. Porcentaje del área bajo riego – Par

$$Par = 100 \% \text{ Por definición del riego por aspersión}$$

13. Precipitación horaria del sistema de riego Phr

$$Phr = \frac{q_e * 100}{d_e * d_l * Par}$$

$$Phr = \frac{740 * 100}{12 * 12 * 100}$$

$$Phr = 5,14 \text{ mm h}^{-1}$$

14. Comparación de la precipitación del sistema de riego con la velocidad de infiltración del suelo

$$Phr (\text{mm/h}) \leq I_b (\text{mm/h})$$

5,14 ≤ 31,29 **ACEPTADO**

15. Intervalo de riego Ir

$$Ir = \frac{Lazr * Par}{Etc * 100}$$

$$Ir = \frac{58,24 * 100}{9,12 * 100}$$

$$Ir = 6,38 \text{ días}$$

16. Intervalo de riego ajustado Ir (aj)

$$Ir (aj) = \text{INTEGRO} (Ir (\text{días}))$$

$$Ir (aj) = 6 \text{ días}$$

17. Ciclo de riego CR

$$CR = Ir (aj) - dp$$

$$CR = 6 - 2$$

$$CR = 4 \text{ días}$$

18. Lámina de riego ajustada LR (aj)

$$LR (aj) = \frac{Ir (aj) * ETc * 100}{Par}$$

$$LR (aj) = \frac{6 * 9,12 * 100}{100}$$

$$LR (aj) = 54,73 \text{ mm}$$

19. Comparación de la lámina ajustada con la lámina disponible

$$LR (aj) (\text{mm}) \leq LA_{zr} (\text{mm})$$

54,73 ≤ 58,24 **ACEPTADO**

20. Porcentaje de agua aprovechada, ajustada Pa (aj)

$$Pa (aj) = \frac{LR (aj) * 100}{LD_{zr}}$$

$$Pa (aj) = \frac{54,73 * 100}{145,6}$$

$$Pa (aj) = 37,59 \%$$

21. Comparación del porcentaje de agua aprovechado con el máximo porcentaje de agua aprovechable

$$Pa (aj) (\%) \leq Pa (\%)$$

37,59 ≤ 40 **ACEPTADO**

22. Lámina bruta LB

$$LB = \frac{LR (aj) * 100}{Ef}$$

$$LB = \frac{54,73 * 100}{75}$$

$$LB = 72,97 \text{ mm}$$

23. Dosis de riego total DT

$$DT = \frac{LB * Par}{10}$$

$$DT = \frac{54,73 * 100}{75}$$

$$DT = 729,73 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$$

24. Horas de riego por turno Ht

$$Ht = \frac{LB}{Phr}$$

$$Ht = \frac{72,97}{5,14}$$

$$Ht = 14,20 \text{ h/turno}$$

25. Máximo número de turnos de riego diarios Td

$$Td = \text{INTEGRO} \left[\frac{Hm}{Ht} \right]$$

$$Td = \frac{8}{14,2}$$

$$Td = 0,56 \text{ turno/día}$$

26. Horas de riego por día Hd

$$Hd = Td * Ht$$

$$Hd = 0,56 * 14,2$$

$$Hd = 8,00 \text{ h/día}$$

27. Horas de riego por ciclo Hc

$$Hc = CR * Hd$$

$$Hc = 4 * 8$$

$$Hc = 32 \text{ h/ciclo}$$

28. Numero de turnos por ciclo Tc

$$Tc = CR * Td$$

$$Tc = 4 * 1$$

$$Tc = 4 \text{ turnos/ciclo}$$

29. Superficie bajo riego por turno St

$$St = \frac{Sr}{Tc}$$

$$St = \frac{1,8}{4}$$

$$St = 0,30 \text{ ha/turno}$$

30. Dosis de riego total por turno Dtt

$$DTt = St * DT$$

$$DTt = 0,3 * 729,33$$

$$DTt = 218,92 \text{ m}^3/\text{turno}$$

31. Caudal requerido

$$Qr = \frac{DTt}{Ht}$$

$$Qr = \frac{218,92}{14,20}$$

$$Qr = 15,42 \text{ m}^3/\text{h}$$

32. Descarga disponible en el sistema de riego Qs

$$Qr = (\text{m}^3/\text{h}) \leq Qs (\text{m}^3/\text{h}) \quad 15,42 \leq 40 \text{ ACEPTADO}$$

33. Numero de emisores por turno Emt

$$Emt = \frac{Qr}{qe}$$

$$Emt = \frac{15,42}{0,74}$$

$$Emt = 20,83 \text{ e/turno}$$

34. Volumen total por ciclo de riego Vtc

$$VTc = DTt * Tc$$

$$VTc = 218,92 * 4$$

$$VTc = 875,68 \text{ m}^3/\text{ciclo}$$

35. Caudal especifico Qe

$$Qe = \frac{Qr}{A}$$

$$Qe = \frac{15,42}{1,8}$$

$$Qe = 8,56 \text{ m}^3/\text{ha/h}$$

Anexo 14. Cálculos del diseño hidráulico.

Datos	
Tubería:	Multiple
Material:	PVC
Longitud:	140 m
P_{asp}=	2,5 atm = 25 mca
Alt del elevador_{asp}:	2 m
q_{asp}:	0,2055 l/s
C	150
Tubería:	Lateral₁
Material:	PVC
Longitud:	95
P_{asp}=	2,5 atm = 25 mca
Alt del elevador_{asp}:	2m
Distancia asp:	12 m
Dist. 1er asp:	1/2
Nº asp:	6
q_{asp}:	0,21 l/s
Q_{lat}:	1,23 l/s
C	150
Tubería:	Principial
Material:	PVC
Longitud:	110 m
P_{asp}=	2,5 atm = 25 mca
Alt del elevador_{asp}:	2 m
q_{asp}:	0,2055 l/s
C	150

este es el coeficiente de fricción para tubería PVC

Cálculo de las pérdidas por el método de Hazen – williamn para el sector 1

Tubería	Caudal (l/s)	Longitud (m)	α nominal	α Externo (mm)	α Interno (mm)
Principal	5,55	110	3	63	69
Multiple	5,55	140	3	63	59,80
Lateral 1	1,23	45	3	32	28,80

Velocidad en la tubería principal:

$$V = (Q / (\pi * \alpha \text{ interno})^2) / 4$$

$$V = (5,55/1000) / ((3,1416 * ((69/1000)^2)) / 4)$$

$$V = 1,48$$

Velocidad en la tubería múltiple.

$$V = (Q / (\pi * \alpha \text{ interno})^2 / 4)$$

$$V = (5,55/1000) / ((3,1416 * ((59,8/1000)^2)) / 4)$$

$$V = 1,98$$

Velocidad en la lateral 1

$$V = (Q / (\pi * \alpha \text{ interno})^2 / 4)$$

$$V = (1,23/1000) / ((3,1416 * ((28,80/1000)^2)) / 4)$$

$$V = 1,48$$

Perdidas de carga aplicando el método

Perdidas en la tubería principal

$$J = 1,21 * 10^{10} * \frac{Q^{1,852}}{C} * D^{-4,87}$$

$$J = 1,21 * 10^{10} * \frac{5,55^{1,852}}{150} * 69^{-4,87}$$

$$J = 2,99 \quad \text{m/100}$$

Perdidas en la tubería múltiple

$$J = 1,21 * 10^{10} * \frac{Q^{1,852}}{C} * D^{-4,87}$$

$$J = 1,21 * 10^{10} * \frac{5,55^{1,852}}{150} * 59,8^{-4,87}$$

$$J = 6,01 \text{ m/100}$$

Perdidas en el lateral 1

$$J = 1,21 * 10^{10} * \frac{Q^{1,852}}{C} * D^{-4,87}$$

$$J = 1,21 * 10^{10} * \frac{1,23^{1,852}}{150} * 28,80^{-4,87}$$

$$J = 13 \text{ m/100}$$

Cálculo de hf en la tubería principal

$$hf = J * \text{Longitud}$$

$$hf = 2,99 * 110$$

$$hf = 3,99 \text{ m}$$

Cálculo de hf en la tubería múltiple

$$hf = J * \text{Longitud}$$

$$hf = 6,01 * 140$$

$$hf = 8,41 \text{ m}$$

Cálculo de hf en la lateral 1

$$hf = J * \text{Longitud}$$

$$hf = 13 * 45$$

$$hf = 5,85 \text{ m}$$

Determinación de Hf

Tubería	Fórmula	Cálculo	Hf (m)
Principal	$Hf = hf$	3,29	3,29
Múltiple	$Hf = F * hf$	$0,39 * 8,41$	3,29
Lateral 1	$Hf = F * hf$	$0,41 * 5,85$	2,38
Filtrado			5
Accesorios			0,87
TOTAL			14,83

Perdida de carga total en el sistema

Tubería: 8,96

Aspersor: 25

Elevador: 2

Accesorios: 0,87

Condición de diseño

$$\Delta P \leq 0,2 P_{Nasp}$$

$$\Delta P = P_0 - \frac{P_n}{Y}$$

$$P_0 = \frac{P_a}{Y} + \frac{3}{4} h - \frac{H_g}{2} + H_a$$

$$P_0 = 25 + \frac{3}{4} (2,38) - \frac{2,22}{2} + 2$$

$$P_0 = 27,68 \text{ m}$$

$$\frac{P_n}{Y} = \frac{P_a}{Y} - \left(\frac{1}{4}\right)h + \frac{H_g}{2}$$

$$\frac{P_n}{Y} = 25 - \left(\frac{1}{4}\right)2,38 + \frac{2,22}{2}$$

$$\frac{P_n}{Y} = 25,51 \text{ m}$$

$$\Delta P = P_0 - \frac{P_n}{Y}$$

$$\Delta P = 27,68 - 25,51$$

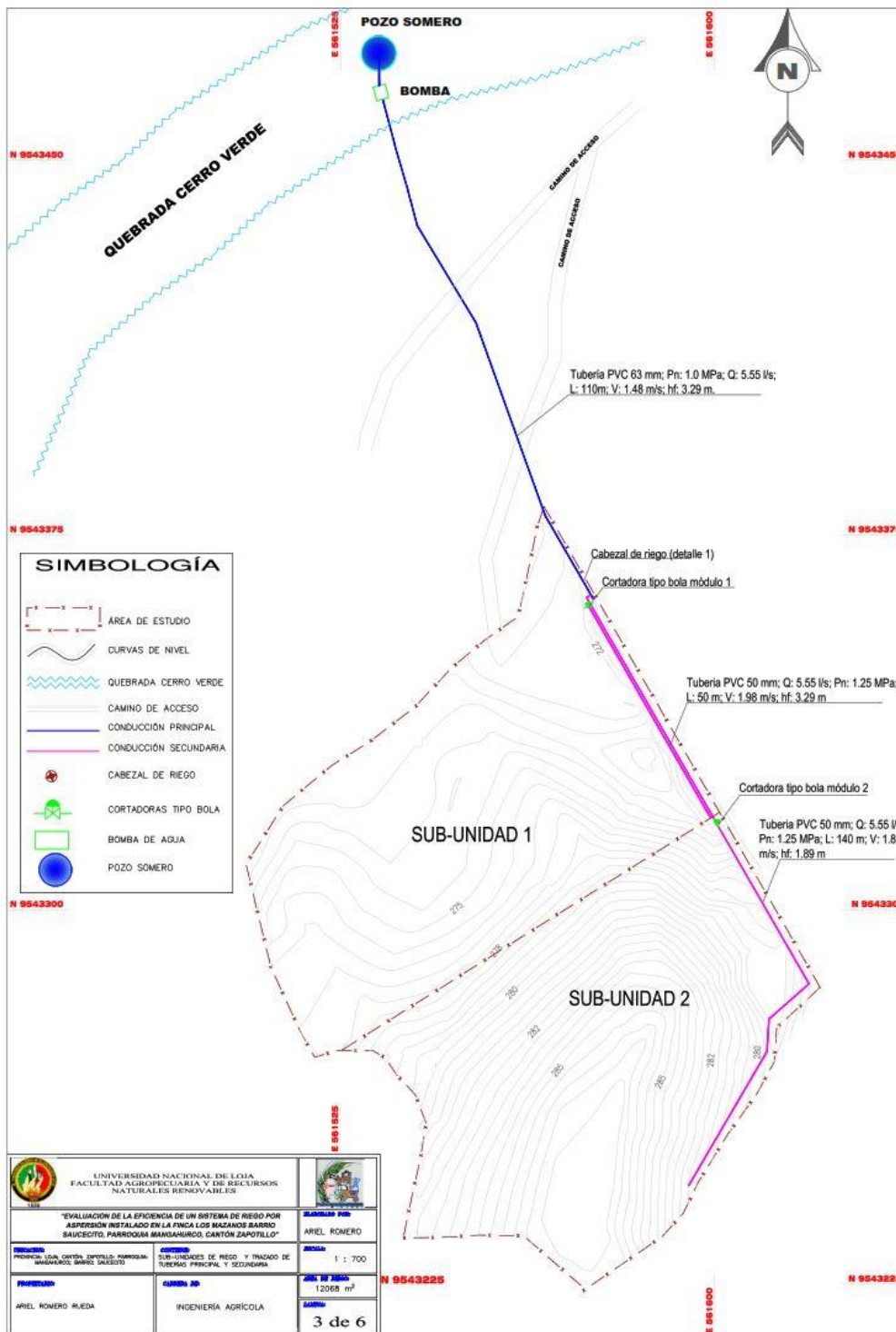
$$\Delta P = 2,16$$

$$\Delta P \leq 0,2 P_{Nasp}$$

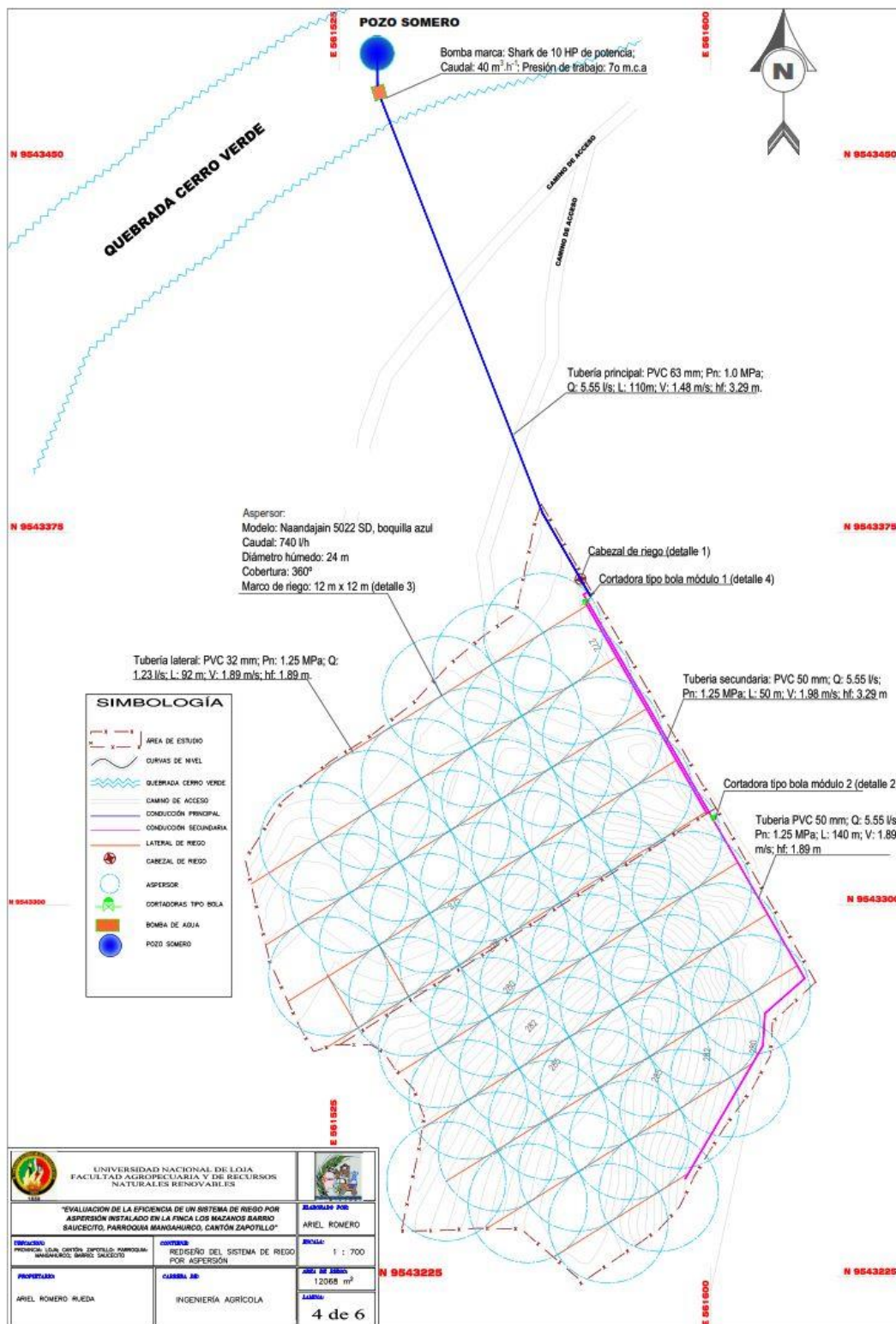
$$2,16 \leq (0,2 * 25)$$

$$2,16 \leq 5 \quad \text{ACEPTADO}$$

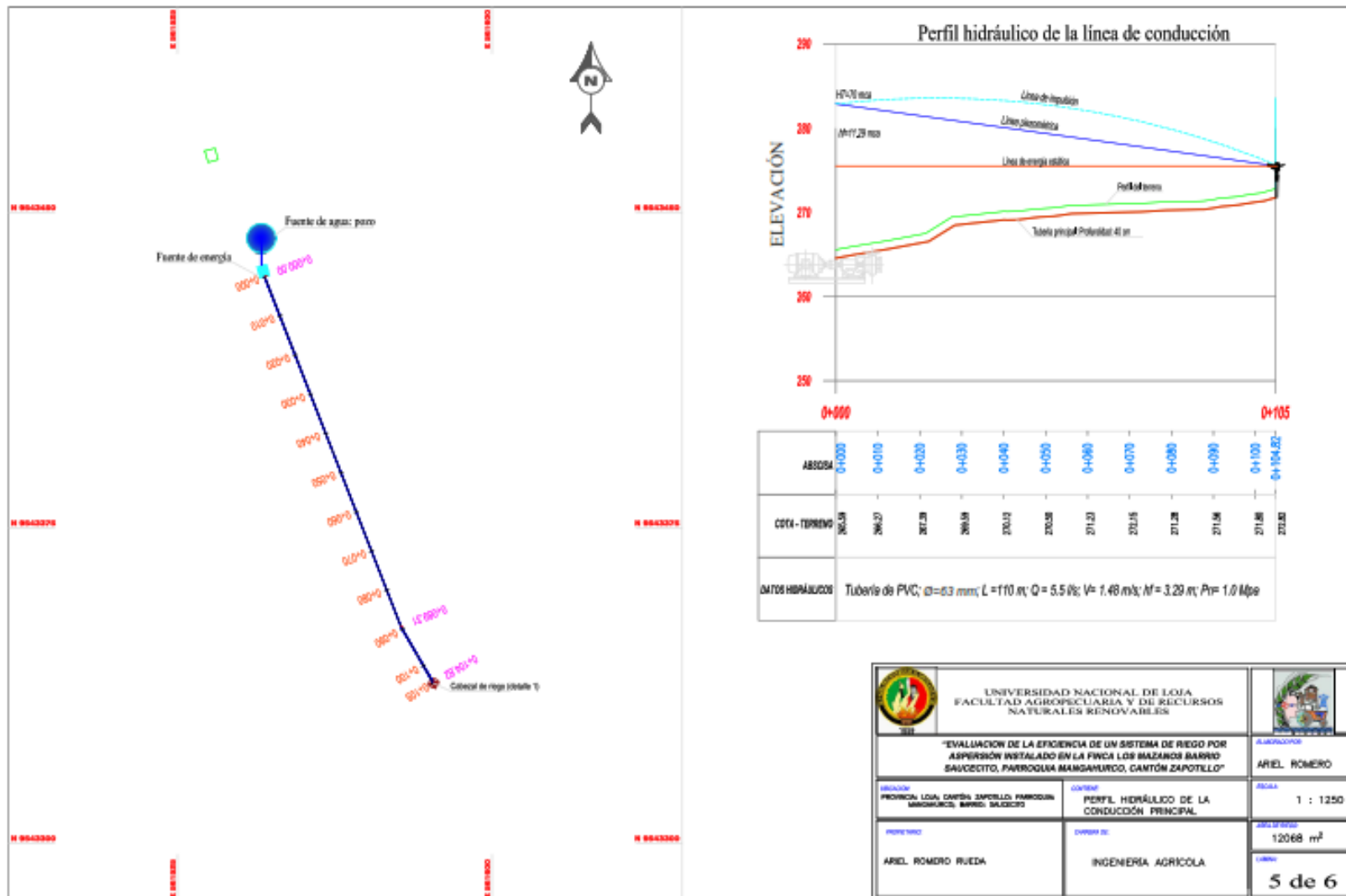
Anexo 15. Subunidades de riego rediseño.



Anexo 16. Plano del rediseño de riego.



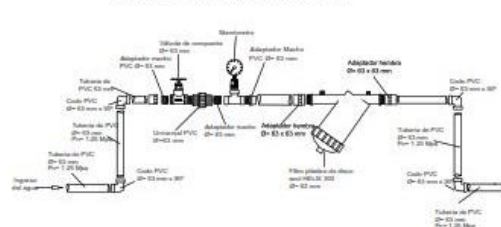
Anexo 17. Perfil hidráulico de la conducción principal.



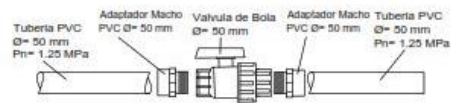
Anexo 18. Detalles constructivos del rediseño de riego.

DETALLES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERCIÓN

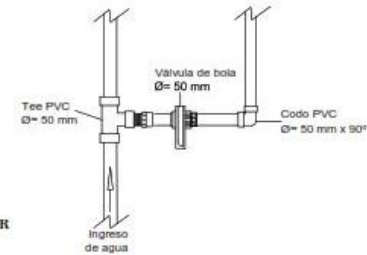
DETALLE 1. CABEZAL DE CONTROL



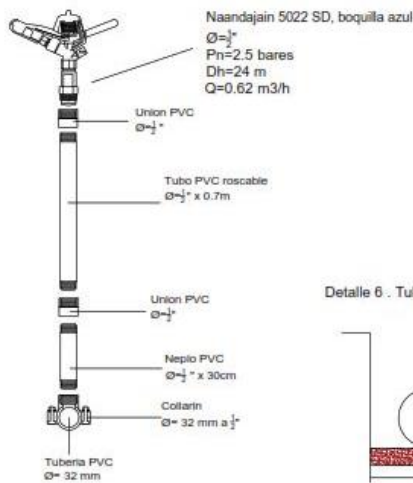
DETALLE 2. VÁLVULA DE CORTE SUB-UNIDAD 2



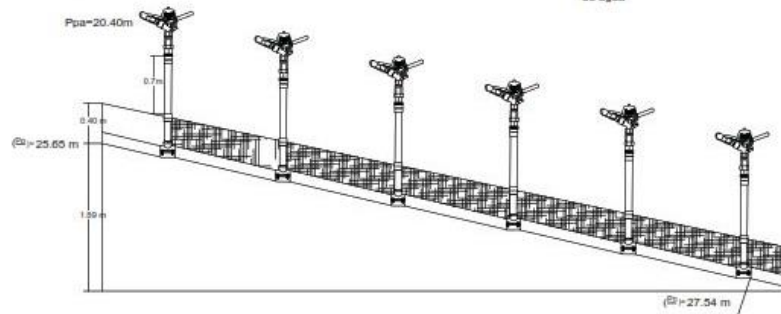
DETALLE 4. SALIDA A LA TUB. SECUNDARIA



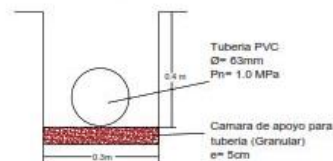
DETALLE 3. ASPERSOR





DETALLE 5. PRESIONES EN EL PRIMER Y ULTIMO ASPERSOR



Detalle 6. Tubería principal y secundaria



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES</p>		
<p>"EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN INSTALADO EN LA FINCA LOS MAZANOS BARRIO SAUCECITO, PARROQUIA MANGAHURCO, CANTÓN ZAPOTILLO"</p>		<p>ELABORADO POR: ARIEL ROMERO</p>
<p>UBICACIÓN: PROVINCIA: LOJA; CANTÓN: ZAPOTILLO; PARROQUIA: MANGAHURCO; BARRIO: SAUCECITO</p>	<p>CONTIENE: DETALLES CONSTRUCTIVOS DEL REDISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN</p>	<p>ESCALA: 1 : 750</p>
<p>PROPIETARIO: ARIEL ROMERO RUEDA</p>	<p>CARRERA DE: INGENIERIA AGRICOLA</p>	<p>AREA DE RIEGO: 12068 m²</p>
		<p>LAMINA: 6 de 6</p>

Anexo 19. Certificado de traducción.

Loja, 01 de junio de 2023

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 Integración Curricular denominado: **Evaluación de la eficiencia de un sistema de riego por aspersión instalado en la finca los manzanos, barrio Saucesito, parroquia Mangahurco, cantón Zapotillo**, de autoría del señor estudiante, **Deivar Ariel Romero Rueda**, con CI: 1150276978, 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 **Deivar Ariel Romero Rueda** 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