



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Evaluación de un sistema de riego por aspersión en un predio del sector El Porvenir, Parroquia Malacatos.

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Agrícola

AUTORA:

Cinthia Estefanía Abad Ludeña

DIRECTOR:

Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2023

Educamos para **Transformar**

Certificación

Loja, 17 de marzo de 2023

Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado Mg.Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación de un Sistema de Riego por Aspersión en un predio del sector El Porvenir, parroquia Malacatos**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrícola**, de autoría de la estudiante **Cinthia Estefanía Abad Ludeña**, con cédula de identidad **Nro. 1105996969**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:
**MANUEL ROMEL RAMON
HURTADO**

Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado Mg.Sc

DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Cinthia Estefanía Abad Ludeña**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de este. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1105996969

Fecha: Loja, 13 junio de 2023

Correo electrónico: cinthia.abad@unl.edu.ec

Teléfono: 0939829950

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

Yo, **Cynthia Estefanía Abad Ludeña**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación de un sistema de riego por aspersión en un predio del sector El Porvenir, Parroquia Malacatos**, como requisito para optar el título de **Ingeniera Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los trece días del mes de junio de dos mil veintitrés.

Firma: 

Autora: Cynthia Estefanía Abad Ludeña

Cédula de identidad: 1105996969

Dirección: Clodoveo Jaramillo, Loja, Ecuador

Correo electrónico: cynthia.abad@unl.edu.ec

Teléfono: 0939829950

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Manuel Romel Ramon Hurtado, Mg. Sc.

Dedicatoria

Dedico mi trabajo a Dios quien ha guiado mis pasos con amor, sabiduría y fortaleza.

A mis padres, por su confianza esfuerzo y sacrificio para culminar esta etapa profesional de mi vida, por apoyarme en cada decisión de mi vida y motivarme constantemente para alcanzar mis metas, a mi hermano y hermanas por estar siempre a mi lado, y brindarme su apoyo incondicional. A quienes me acompañan desde el cielo y me siguen inspirando.

Cynthia Estefanía Abad Ludeña

Agradecimiento

Al finalizar esta importante etapa de mi vida, le agradezco a Dios y a la Virgen, por ser mi guía de todos los días, a mis padres, quienes con su esfuerzo y dedicación me impulsaron a conseguir este logro, a mis hermanos por su apoyo.

De manera especial agradecer a la Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Agrícola por sus conocimientos y experiencias brindadas durante los años de formación universitaria.

De manera especial al Ing. Romel Ramon Hurtado, director del presente trabajo de titulación, por su guía, apoyo y paciencia.

También quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Omar Ojeda por su oportuno aporte, brindándome su ayuda y confianza, así como para mi compañero Daniel Guamán por contribuir con sus conocimientos en el presente trabajo.

Finalmente mi agradecimiento a todas y cada una de las personas que hicieron posible alcanzar este logro. Gracias

Cinthia Estefanía Abad Ludeña

Índice de contenidos

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.....	xii
Índice de anexos.....	xiii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. El Suelo.....	6
4.1.1. Propiedades físicas del suelo	6
4.2. Contenido de agua en el suelo.....	8
4.2.1. Formas de expresar en contenido de agua en el suelo	8
4.3. Curva de retención de humedad del suelo	9
4.3.1. Saturación	9
4.3.2. Capacidad de campo (CC)	9
4.3.3. Punto de marchitez permanente (PMP).....	10
4.3.4. Umbral de Riego (UR).....	10
4.3.5. Agua útil total (AUT).....	10
4.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	10
4.5. Riego	10
4.5.1. Riego superficial o gravitacional.....	11
4.5.2. Riego subsuperficial.....	11
4.5.3. Riego por goteo	12
4.5.4. Riego por aspersión.....	12
4.6. Evaluación del riego por aspersión.....	14
4.6.1. Eficiencia de aplicación del sistema de riego por aspersión	14
4.6.2. Evaluación de los componentes de la instalación.....	14
4.6.3. Evaluación de la Uniformidad del Riego.....	15
4.6.4. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (PEA)	16
4.6.5. Evaluación de los índices de grosor de la gota.....	16

4.6.6.	Evaluación del manejo de riego.....	16
4.7.	Operación y mantenimiento de un sistema de riego.....	17
4.8.	Diseño agronómico	17
4.8.1.	Parámetros para el diseño agronómico de riego por aspersión	19
4.9.	Diseño hidráulico.....	21
4.9.1.	Pérdidas de carga en tuberías	22
4.9.2.	Pérdida de carga en tubería multi – salida.....	22
4.10.	Investigaciones relacionadas con la evaluación de riego	22
5.	Metodología.....	25
5.1.	Área de estudio.....	25
5.2.	Materiales y equipos	25
5.3.	Metodología del primer objetivo.....	26
5.3.1.	Elaboración de encuestas.....	27
5.3.2.	Caracterización del suelo del predio	28
5.3.3.	Levantamiento Topográfico.....	32
5.3.4.	Caudal de la fuente de agua.....	32
5.3.5.	Calidad de agua del predio de “El Porvenir”	33
5.4.	Metodología del segundo objetivo.....	33
5.4.1.	Especificaciones técnicas de los componentes de la instalación	33
5.4.2.	Pérdidas de carga en la red de tuberías.....	33
5.4.3.	Evaluación de los componentes de la instalación.....	34
5.4.4.	Evaluación de la uniformidad del sistema de riego	34
5.4.5.	Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento.....	36
5.4.6.	Evaluación del índice de grosor de la gota.....	38
5.4.7.	Evaluación del manejo del riego	38
5.5.	Metodología del tercer objetivo.....	38
5.5.1.	Rediseño del sistema de riego por aspersión	38
5.5.1.1.	Diseño agronómico.....	41
5.5.1.2.	Diseño hidráulico	45
6.	Resultados	48
6.1.	Resultados del primer objetivo	48
6.1.1.	Caracterización de los aspectos biofísicos, Junta N° 1	48
6.1.2.	Aspectos socio-organizativos, Junta N° 1.....	50
6.1.3.	Aspectos del funcionamiento del riego, Junta N° 1.....	52
6.1.4.	Caracterización de las propiedades del suelo del predio	53
6.1.4.1.	Descripción general del perfil.	53
6.1.4.2.	Constantes físicas e hidrofísicas del suelo	53
6.1.4.3.	Evaluación de las condiciones física del suelo.....	54
6.1.4.4.	Curva de retención de humedad.....	54
6.1.4.5.	Velocidad de infiltración básica.	55
6.1.5.	Levantamiento topográfico de la superficie de riego	55

6.1.6.	Caudal de la fuente de agua.....	55
6.1.7.	Calidad del agua.....	56
6.2.	Resultados del segundo objetivo.....	56
6.2.1.	Especificaciones técnicas de los componentes de la instalación.....	56
6.2.2.	Pérdidas de carga en la red de tuberías.....	57
6.2.3.	Evaluación física de los componentes de la instalación.....	58
6.2.4.	Evaluación de la uniformidad del sistema de riego.....	59
6.2.5.	Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento.....	59
6.2.6.	Evaluación del índice de grosor de la gota (IG).....	60
6.2.7.	Evaluación del manejo del riego.....	60
6.3.	Resultados del tercer objetivo.....	61
6.3.1.	Rediseño del sistema de riego por aspersión.....	61
6.3.1.1.	Necesidades Hídricas del cultivo.....	61
6.3.1.2.	Diseño agronómico.....	63
6.3.1.3.	Diseño hidráulico.....	64
7.	Discusión.....	66
7.1.	Caracterización de los métodos de riego de la junta N° 1.....	66
7.1.1.	Aspectos biofísicos, Junta N° 1.....	66
7.1.2.	Aspectos socio – organizativos, Junta N°1.....	66
7.1.3.	Aspectos del funcionamiento del riego, Junta N° 1.....	67
7.1.4.	Caracterización del del suelo del predio.....	67
7.1.5.	Calidad del agua que llega al predio de “El Porvenir”.....	68
7.2.	Evaluación del sistema de riego por aspersión.....	68
7.2.1.	Pérdidas de carga en la red de tuberías.....	68
7.2.2.	Evaluación de la uniformidad del sistema de riego.....	69
7.2.3.	Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento.....	69
7.2.4.	Evaluación del índice de grosor de la gota (IG).....	70
7.2.5.	Evaluación del manejo del riego.....	70
7.3.	Elaboración de una propuesta de manejo de riego.....	70
7.3.1.	Rediseño del sistema de riego por aspersión.....	70
7.3.1.1.	Necesidades Hídricas del cultivo.....	70
7.3.1.2.	Diseño agronómico.....	71
7.3.1.3.	Diseño hidráulico.....	71
8.	Conclusiones.....	72
9.	Recomendaciones.....	73
10.	Bibliografía.....	74
11.	Anexos.....	81

Índice de tablas

Tabla 1.	Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión.....	13
Tabla 2.	Eficiencia teórica por sistema	14
Tabla 3.	VARIABLES evaluadas en la investigación.....	26
Tabla 4.	Número de usuarios en la Junta N° 1	27
Tabla 5.	Interpretación de la densidad aparente según la textura del suelo.	29
Tabla 6.	Interpretación de los rangos de CC y PMP según la textura del suelo.	29
Tabla 7.	Interpretación de la velocidad de infiltración según la textura del suelo.....	30
Tabla 8.	Clasificación de la velocidad de infiltración.....	32
Tabla 9.	Interpretación de la calidad del agua de riego.....	33
Tabla 10.	Interpretación del Coeficiente de Uniformidad	35
Tabla 11.	Interpretación de la uniformidad de instalación.....	36
Tabla 12.	Valores del factor C de la ecuación de Hazen-Williams.....	46
Tabla 13.	Caracterización climática de la Junta de Riego N°1	48
Tabla 14.	Aspectos sociales de la Junta de Riego N°1	51
Tabla 15.	Principales cultivos de la Junta de Riego N° 1.....	51
Tabla 16.	Destino de la producción de la Junta N° 1	51
Tabla 17.	Organización de los usuarios de la Junta de Riego N°1	52
Tabla 18.	Caracterización de los métodos de riego de la Junta N°1	52
Tabla 19.	Constantes físicas del suelo del predio de “El Porvenir”.....	53
Tabla 20.	Constantes hidrofísicas del suelo del predio de “El Porvenir”	54
Tabla 21.	Valores para la curva característica de humedad del suelo.....	54
Tabla 22.	Resultados de calidad de agua que llega al predio.....	56
Tabla 23.	Especificaciones técnicas de las tuberías y válvulas de riego.....	56
Tabla 24.	Especificaciones técnicas de los aspersores encontrados en campo	57
Tabla 25.	Pérdida por fricción en las tuberías.....	57
Tabla 26.	Pérdidas en las laterales de riego	58
Tabla 27.	Evaluación física de los componentes de la instalación.	58
Tabla 28.	Características de los aspersores utilizados en la evaluación	59
Tabla 29.	Datos para la obtención de las pérdidas por evaporación y arrastre de viento	59
Tabla 30.	Índice de grosor de la gota de cada aspersor.....	60
Tabla 31.	Datos del manejo del sistema de riego en el predio.....	60
Tabla 32.	Evapotranspiración de referencia (ET _o), periodo 1990 – 2013.....	61
Tabla 33.	Valores de kc del cultivo de café	61
Tabla 34.	Evapotranspiración del cultivo (ET _c) de café.....	61
Tabla 35.	Precipitación efectiva método de U.S National Weather Service.	62
Tabla 36.	Requerimientos de riego del cultivo de café.	62
Tabla 37.	Necesidades brutas de riego.....	62
Tabla 38.	Características del aspersor seleccionado	63
Tabla 39.	Diseño agronómico del cultivo de café.....	63
Tabla 40.	Pérdida de carga en la red de tuberías.....	64
Tabla 41.	Lista de materiales y accesorios del rediseño de riego por aspersión.....	65
Tabla 42.	Descripción de los horizontes del perfil del suelo del predio de “El Porvenir” ...	82

Tabla 43.	Datos de la primera prueba de infiltración.....	84
Tabla 44.	Datos de la segunda prueba de infiltración.....	85
Tabla 45.	Datos de la tercera prueba de infiltración.....	85
Tabla 46.	Datos de la cuarta prueba de infiltración.....	86
Tabla 47.	Aspersores encontrados in situ en el sistema de riego.....	87
Tabla 48.	Datos del ensayo del coeficiente de uniformidad.....	88
Tabla 49.	Serie de datos obtenidos de las estaciones metereológicas.....	90
Tabla 50.	Valores de (kc) y etapas de desarrollo del cultivo de café.....	91
Tabla 51.	Población por rango de edad de los encuestados.....	101
Tabla 52.	Instrucción de los encuestados.....	101
Tabla 53.	Tenencia de tierras de los encuestados.....	101
Tabla 54.	Cultivos predominantes en la Junta N°1.....	101
Tabla 55.	Destino de la producción de la Junta N°1.....	101
Tabla 56.	Lugar de venta de la producción de la Junta N°1.....	102
Tabla 57.	Producción anual de la Junta N°1.....	102
Tabla 58.	Participación frecuente de los usuarios de la Junta N°1.....	102
Tabla 59.	Frecuencia de las reuniones en la Junta N°1.....	102
Tabla 60.	Costo por el agua en la Junta N°1.....	102
Tabla 61.	Problemas presentes en la Junta N°1.....	102
Tabla 62.	Métodos de riego en la Junta N°1.....	103
Tabla 63.	Forma de instalación de los métodos de riego en la Junta N°1.....	103
Tabla 64.	Problemas en los métodos de riego de la Junta N°1.....	103
Tabla 65.	Costo de los métodos de riego de la Junta N°1.....	103
Tabla 66.	Frecuencia de riego en la Junta N°1.....	103
Tabla 67.	Horario de aplicación del riego en la Junta N°1.....	103
Tabla 68.	Tiempo de riego en la Junta N°1.....	104
Tabla 69.	Caudal de ingreso al predio en la Junta N°1.....	104

Índice de figuras

Figura 1.	Ubicación del área de estudio	25
Figura 2.	Mapa de pendientes de la Junta de Riego N° 1	49
Figura 3.	Mapa textural de la Junta de Riego N° 1	49
Figura 4.	Mapa de cobertura vegetal de la Junta de Riego N° 1	50
Figura 5.	Curva de retención de humedad	54
Figura 6.	Plano topográfico del predio.....	55
Figura 7.	Perfil del suelo del predio.....	81
Figura 8.	Aplicación de encuestas.....	91
Figura 9.	Realización de calicata y descripción de perfiles	91
Figura 10.	Muestras en saturación.....	91
Figura 11.	Determinación textura del suelo.....	91
Figura 12.	Pruebas de infiltración.....	91
Figura 13.	Componentes de instalación del sistema	91
Figura 14.	Realización de la prueba de uniformidad	92
Figura 15.	Determinación de la presión y aforo de los aspersores	92
Figura 16.	Levantamiento topográfico.....	92
Figura 17.	Aforo del caudal disponible en el predio.....	92

Índice de anexos

Anexo 1.	Descripción del perfil de la unidad de suelo del sector “El Porvenir”	81
Anexo 2.	Determinación de la textura del suelo	82
Anexo 3.	Resultados de las constantes hidrofísicas del suelo de El Porvenir.....	83
Anexo 4.	Determinación de la evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	84
Anexo 5.	Datos de las pruebas de infiltración.....	84
Anexo 6.	Resultados de la calidad de agua del predio	86
Anexo 7.	Listado de los aspersores encontrados in situ en el sistema	87
Anexo 8.	Cálculo del coeficiente de uniformidad.....	88
Anexo 9.	Características técnicas de los aspersores utilizados en el ensayo	89
Anexo 10.	Serie de datos de estaciones meteorológicas según el INAMI.	90
Anexo 11.	Curva del coeficiente del cultivo (kc) para café	90
Anexo 12.	Respaldo fotográfico	91
Anexo 13.	Plano del riego por aspersión actual en el predio.....	93
Anexo 14.	Plano del área de humedecimiento del riego por aspersión en el predio	94
Anexo 15.	Plano de la propuesta de rediseño del riego	95
Anexo 16.	Plano del área de humedecimiento del rediseño de riego	96
Anexo 17.	Esquemas de instalación del rediseño de riego.....	97
Anexo 18.	Planimetría y perfil de la línea de conducción	98
Anexo 19.	Diseño de la encuesta aplicada.....	99
Anexo 20.	Tabulación de las encuestas aplicadas	101
Anexo 21.	Certificado de traducción del resumen.....	104

1. Título

**Evaluación de un sistema de riego por aspersión en un predio del sector El Porvenir,
Parroquia Malacatos.**

2. Resumen

La investigación se realizó en el sector El Porvenir perteneciente a la Junta N°1 del sistema de riego Campana – Malacatos, tiene por objetivo la evaluación del riego por aspersión en un predio, con el propósito de mejorar la uniformidad y eficiencia de aplicación, para caracterizar los métodos de riego de la zona se aplicó la encuesta a 75 usuarios; obteniendo que la principal actividad es la agricultura de autoconsumo y comercialización; el 65 % de usuarios son dueños de la tierra con áreas menores a 1 ha; el 58,7 % del riego es por aspersión y el 41,3 % por gravedad; el predio tiene un área de 0,3 ha; textura franca, densidad aparente de 1,35 g/cm³; contenido de humedad a saturación de 33,8 %, capacidad de campo de 27,8 %; y, punto de marchitez permanente de 9,4 %; el agua para el riego presentó un pH ligeramente alcalino de 7,6 conductividad eléctrica de 0,030 dS/m, relación de absorción del sodio de 1,71, estos parámetros se encuentran entre los rangos aceptables, por tanto, no presentan restricción de uso. La evaluación y el funcionamiento hidráulico del sistema presentó deficiencias en su diseño, componentes en mal estado que repercuten en el correcto funcionamiento, el coeficiente de uniformidad de Christiansen fue del 85 %, la uniformidad de distribución y de instalación fueron inaceptables del 70 % y 63 % correspondientemente, las pérdidas por evaporación y arrastre del viento de 22,61 %, el índice de grosor de la gota fue de 10,81 y 18,01. Con base a los resultados, se realizó el rediseño del riego; la evapotranspiración de referencia (ET_o) se calculó con el método de Hargreaves, por medio de la obtención de datos meteorológicos de las estaciones de Quinara, Yangana y Malacatos con una serie de 23 años (1990 – 2013), determinando que se debe regar con una frecuencia de 8 días y un tiempo de 8 horas para compensar la lámina de riego para el cultivo de café que es de 46,00 mm, utilizando el aspersor NETAFIM 9575. En el diseño hidráulico, se definió la red de tuberías principal, secundaria y terciarias (lateral de riego), con diámetros de 75, 63 y 40 mm respectivamente. De acuerdo con los resultados de la evaluación y el rediseño será posible mejorar el sistema de riego, con miras a tener una mejor uniformidad en la aplicación del agua de regadío y, así, utilizar los recursos hídricos eficientemente.

Palabras claves: evaluación del riego, riego por aspersión, eficiencia de distribución, uniformidad de riego, cultivo de café.

2.1. Abstract

The investigation was carried out in the El Porvenir area, which is part of Board No.1 of the Campana-Malacatos irrigation system, to assess the effectiveness of sprinkler irrigation on a property to improve the uniformity and efficiency of irrigation. To characterize the irrigation methods used in the region, a survey was conducted with 75 users. The results indicate that the primary agricultural activities in the area are subsistence and commercial agriculture, the 65% of users owning land areas smaller than 1 hectare. In the study area, sprinkler irrigation accounts for 59%, while gravity irrigation accounts for 41%. The property covers an area of 0.3 hectares, with texture soil loam, an apparent density of 1.35 g/cm³, moisture content at a saturation of 33.8%, Field Capacity of 27.8%, and a permanent wilting point of 9.4%. The water for irrigation presented a slightly alkaline pH of 7.6, and its salinity is 0.030 dS/m of CE. The sodium absorption ratio is 1.71, and suspended solids are 282.00 mg/l. These water quality parameters are within acceptable ranges; therefore, they do not present a restriction of use. In the evaluation and the hydraulic operation of the system, it presented deficiencies in its design, components in poor condition that affect the correct operation, the Christiansen uniformity coefficient was 85%, the distribution and installation uniformity were unacceptable of 70% and 63% correspondingly, the losses by evaporation and dragging of the wind of 22.61%, the thickness index of the drop was 10.81 and 18.01. Based on the results, the irrigation redesign was carried out, the reference evapotranspiration (ET_o) was calculated with the Hargreaves method, by obtaining meteorological data from the stations of Quinara, Yangana and Malacatos with a series of 23 years (1990 - 2013), determining that it should be irrigated with a frequency of 8 days and a time of 8 hours to compensate the irrigation sheet for the coffee that is 46.00 mm, using the NETAFIM 9575 sprinkler. The hydraulic design of the irrigation system defined the primary, secondary, and tertiary (irrigation lateral) pipe networks, with diameters of 75, 63, respectively. According to the results of the evaluation and the redesign, it will be possible to improve the irrigation system, with a view to having a better uniformity in the application of irrigation water and, thus, using water resources efficiently.

Keywords: irrigation evaluation, sprinkler irrigation, distribution efficiency, irrigation uniformity, coffee growing.

3. Introducción

En Ecuador el aprovechamiento del agua constituye el 82% del consumo total para el riego, el resto se distribuye para uso doméstico con el 12,3 % y el 5,6 % para uso industrial (Zapatta & Gasselin, 2005). Bajo este contexto la Subsecretaría de Riego y Drenaje (2019) indica que uno de los principales problemas del riego en Ecuador es la baja eficiencia de los sistemas de riego; en el caso de los sistemas públicos, su eficiencia es de 63 %, en los comunitarios se presenta una situación más compleja, su eficiencia es del 53 %, y en los privados su eficiencia alcanza el 71 %.

La baja eficiencia en el riego se debe a varios factores, entre ellos se puede señalar: la falta de uniformidad en la distribución del agua en la parcela, fallas en el diseño, instalación y operación de los sistemas de riego, alteración de las propiedades físicas del suelo, la velocidad y dirección del viento. Todos estos factores contribuyen a que no se aproveche el verdadero potencial del riego (Flóres et al., 2013). Considerando lo mencionado, es imprescindible el aprovechamiento eficaz y eficiente del recurso hídrico para riego, una alternativa factible es la evaluación de los sistemas de riego y determinación de la uniformidad de su aplicación en la unidad de riego o en parcela (Chamba et al., 2019). Lo que permitirá conocer el funcionamiento de este y establecer criterios de manejo que ayuden a mejorar la eficiencia en la uniformidad y distribución del riego (Naroua et al., 2012).

Por esto, la evaluación de los métodos de riego son de gran interés para conocer el estado que se encuentra actualmente el riego y como ha variado el diseño original con el paso de tiempo (Chamba et al., 2020). Para esto se debería realizar un procedimiento frecuente con la finalidad de detectar fallas en la instalación, componentes y manejo del sistema, para de esta manera dar soluciones de modo oportuno en el mejoramiento de la eficiencia y uniformidad del riego (Durand, 2017).

Por todo lo mencionado, fue de interés realizar la evaluación del riego a nivel de parcela, la misma que se desarrolló en el sector “El Porvenir”, parroquia Malacatos, cantón y provincia de Loja, perteneciente a la Junta N° 1 del sistema de riego Campana – Malacatos. El sistema productivo está caracterizado por tener cultivos perennes, anuales y de ciclo corto. Dentro de la Junta N° 1, existen 90 usuarios, los cuales mencionan que enfrentan una serie de problemas a nivel de parcela como la escorrentía en suelos de pendiente y encharcamiento en suelos planos, compactación del suelo, disminución del espacio poroso, pérdidas del suelo, disminución de la productividad, entre otros.

Además, existe una escasa investigación relacionadas con la evaluación de los métodos de riego en la zona de estudio y a escala local, por ello, también es necesario realizar la evaluación del riego a nivel de parcela para mejorar la eficiencia, con el fin de operar de manera adecuada; orientado a generar aportes significativos para los usuarios, enfocándose en el uso eficiente del agua, para una mejor producción.

Para cumplir con la presente investigación, se planteó los siguientes objetivos:

Objetivo General

Evaluar la situación actual del sistema de riego por aspersión en una parcela del sector “El Porvenir”, parroquia Malacatos, provincia y cantón Loja, con el propósito de mejorar la uniformidad y eficiencia de aplicación del agua de riego.

Objetivos Específicos.

- Caracterizar los métodos de riego de la junta N° 1 del proyecto de riego Campana Malacatos.
- Evaluar el sistema de riego por aspersión en un predio del sector el Porvenir para el cultivo de café (*Coffea arábica L*).
- Elaborar una propuesta de manejo, operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión en el sector El Porvenir.

4. Marco teórico

4.1. El Suelo

El suelo en gran parte es el responsable del buen desarrollo de las plantas, considerado como un depósito constituido por sustancias sólidas materia orgánica (organismos y minerales), agua y aire, los cuales son tomados por la planta dependiendo de las cantidades y características que lo complementan, la proporción en la que se encuentren estos componentes le concede al suelo propiedades físicas, químicas y biológicas propias (López, 2006).

4.1.1. *Propiedades físicas del suelo*

Las propiedades físicas de los suelos, establecen la capacidad de los usos a los que esta sometido. La condición física de un suelo, determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Rucks et al., 2004).

Las propiedades físicas que influyen en el riego y por ende en el desarrollo del cultivo, se las describe a continuación:

- ***Textura.***

La textura se refiere a las proporciones porcentuales de las agrupaciones por tamaños de los granos individuales en una masa de suelo (Ramírez, 1997). Describe específicamente los porcentajes de arcilla, limo y arenas, juega un papel fundamental, en el cálculo de láminas de riego, de lavado, en proyectos de diseño de sistemas de riego y drenaje (Cisneros, 2003).

- ***Estructura.***

La estructura se define como el arreglo de las partículas del suelo, no solo las fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas (Rucks et al., 2004). La estructura afecta la penetración del agua, el drenaje, la aireación y el desarrollo de las raíces, incidiendo así en la productividad del suelo y las facilidades de la labranza (Cisneros, 2003).

- ***Consistencia.***

La consistencia son las manifestaciones de las fuerzas físicas de cohesión y adhesión que actúan dentro del suelo a varios contenidos de humedad, incluye algunas propiedades del suelo como la resistencia a la compresión, friabilidad, plasticidad, viscosidad (Rucks et al., 2004).

- ***Densidad.***

La densidad se define como la masa por unidad de volumen, varía de acuerdo al manejo del suelo y contribuye a determinar un ambiente apropiado para el enraizamiento de los cultivos

y el almacenamiento óptimo del agua, su unidad de medida en S.I. es g/cm^3 (Pereira et al., 2011). Ramírez (1997) considera dos tipos de densidades descritas a continuación:

Densidad aparente. - Es la relación existente entre la masa y el volumen de suelo, en este volumen está considerado todo el espacio poroso existente. La densidad se caracteriza porque da a conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación, la porosidad, la disponibilidad de agua y de oxígeno.

Densidad real. - Es la relación entre el volumen de las partículas de suelo y el volumen de éstas sin considerar el espacio poroso. Los valores de la densidad real en todos los suelos son constantes y oscilan entre 2,5 a 2,6 g/cm^3 dependiendo de su naturaleza mineralógica.

- ***Porosidad.***

Definida como el porcentaje del volumen total de suelo que está ocupado por los poros, el espacio poroso es la porción de suelo no ocupado por partículas sólidas (minerales u orgánicas). Los espacios porosos están ocupados por aire y agua (Cisneros, 2003).

- ***Profundidad.***

Es el espesor que tiene el suelo, debido a esta profundidad las raíces de las plantas pueden penetrarse sin dificultad, mientras más profundo sea el suelo, tendrá mayor firmeza la planta y por ende las raíces podrán extenderse y almacenar más agua (Cadena, 2016).

- ***Infiltración.***

Se denomina infiltración al proceso en el cual el agua penetra en el suelo, la tasa o velocidad de infiltración es la rapidez del agua para infiltrarse, es una de las características importantes para el diseño, operación y evaluación de sistemas de riego (Carrazón, 2018).

La velocidad de infiltración es considerada como un indicador clave de la calidad del suelo (García et al., 2008). Existen algunos factores que determinan la infiltración del suelo como lo es el contenido en humedad del suelo, el agua se infiltra rápidamente cuanto el suelo está seco, es así como, al regar un suelo seco, el agua inicialmente se infiltrará rápidamente, y a medida que se vaya humedeciendo el suelo, la tasa de infiltración disminuye.

Otro factor es la textura del suelo, que depende del tamaño de las partículas que lo forman, considerando que los suelos de textura gruesa (arenosos) tienen mayor tamaño de poros que los de textura fina (arcillosos), y por ende el agua se mueve con mayor facilidad por ellos, teniendo una mayor tasa de infiltración. Finalmente la estructura del suelo, el agua se infiltra más rápido en suelos bien estructurados que en suelos compactos, y está influenciada por el laboreo, factor que puede mejorar o empeorar la infiltración (Carrazón, 2018).

4.2. Contenido de agua en el suelo

Zotarelli et al. (2013), consideran que los suelos contienen diferente cantidad de agua dependiendo de las propiedades físicas (textura y estructura). Las propiedades físicas son las responsables del comportamiento del agua en el suelo; así pues un suelo con arena no tiene capacidad para retener el agua, y por ende el agua se filtra con rapidez, a diferencia de un suelo con arcilla (Acosta, 2007). El conocimiento del contenido de agua es fundamental para determinar los momentos óptimos de riego y su magnitud.

4.2.1. Formas de expresar en contenido de agua en el suelo

Según Carrazón (2018), el contenido de agua en el suelo puede expresarse de las siguientes tres maneras:

- **Contenido de humedad en términos de lámina (mm).**

Expresada en altura de agua, en aplicaciones para riego y drenaje es necesario expresar el contenido de humedad en términos de lámina, con la siguiente fórmula:

$$Lamm = \theta_v \times D$$

Donde:

Lamm = Lámina de riego (mm)

θ_v = Contenido de humedad en términos de volumen (%)

D = Profundidad del suelo (mm)

- **Contenido de humedad en unidades de masa (θ_m).**

Muestra la humedad del suelo, como el peso del agua en relación con el peso de las partículas sólidas. Para su determinación se utiliza la siguiente fórmula:

$$\theta_m = M_w \times M_s \times 100$$

Donde:

θ_m = Contenido de humedad en términos de masa (%)

M_w = Masa de agua (g)

M_s = Masa de sólidos de suelo (g)

- **Contenido de humedad en unidades de volumen (θ_v).**

Manifiesta el contenido de agua en el suelo relacionando el volumen de agua, con el volumen total de suelo. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$\theta_v = V_w \times V_{ts} \times 100$$

Donde:

θ_v = Contenido de humedad en términos de volumen (%)

V_w = Volumen de agua (cm³)

V_t = Volumen total de suelo (cm^3)

Así mismo el θ_v se obtiene en unidades de volumen a partir del producto de la densidad aparente del suelo (D_a) y el contenido de humedad en unidades gravimétricas (θ_m), de la siguiente manera:

$$\theta_v = D_a \times D_w \times \theta_m$$

Donde:

θ_v = Contenido de humedad en términos de volumen (%)

D_a = Densidad aparente del suelo (g cm^{-3})

D_w = Densidad del agua (g cm^{-3})

θ_m = Contenido de humedad en unidades de masa (%)

4.3. Curva de retención de humedad del suelo

Valverde (2007), señala que la curva de retención de humedad del suelo tiene relación existente entre el contenido de humedad de un suelo y la tensión o potencial matriz, considerada como específica para cada suelo dependiendo de su textura y estructura, la curva define situaciones específicas, su conocimiento es de interés para los cálculos de riego (Assan & Gorosito, 2018).

Carrazón (2018), manifiesta que en función de la proporción de agua en los poros del suelo, y su disponibilidad para las plantas, se definen los siguientes niveles de humedad, que son considerados importantes en la curva de retención de humedad.

4.3.1. Saturación

El punto de saturación se da cuando los poros del suelo se llenan de agua después de una lluvia o un riego abundante (Carrazón, 2018). El contenido de humedad es el máximo posible, en suelos saturados hay ausencia de aire y cualquier cantidad adicional de agua se escurre, encharca o se elimina por gravedad (percolación) hacia las capas más profundas (Assan & Gorosito, 2018).

La mayoría de los cultivos no logran sobrevivir más de cinco días en condiciones de saturación, siendo el arroz la excepción (Carrazón, 2018).

4.3.2. Capacidad de campo (CC)

Es el contenido de agua presente en un suelo luego de drenar libremente durante 1 a 3 días posteriores a una lluvia o riego intenso (Quiroga et al., 2018). En este estado de humedad los poros grandes contienen tanto aire como agua, mientras que los más pequeños están aún repletos de agua (Carrazón, 2018).

El punto de Capacidad de Campo es considerado como el contenido de humedad del suelo ideal para el crecimiento de los cultivos.

4.3.3. Punto de marchitez permanente (PMP)

Es el contenido de agua que tiene el suelo cuando la fuerza que realiza la planta por absorber el agua, es igual a la fuerza con que el agua es retenida por el suelo (Cadena, 2016).

En este punto las plantas no pueden extraer el agua, causándoles una marchitez irreversible, y el contenido de humedad del suelo es mínimo (Quiroga et al., 2018).

4.3.4. Umbral de Riego (UR)

El Umbral de riego es también conocido como el déficit permisible de manejo (DMP), normalmente se expresa como el porcentaje de la humedad aprovechable total que puede ser usada por el cultivo sin que la producción de éste disminuya; se lo considera como la mitad de la diferencia de la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). De manera general el UR, varía entre 15 y 85 % del agua disponible total, siendo de 15 a 40 % para cultivos susceptibles a la sequía y de 60 a 80 % para cultivos resistentes a la sequía. El valor comúnmente utilizado es de 50% (Arce et al., 2018).

4.3.5. Agua útil total (AUT)

Es la diferencia entre los contenidos de agua a CC y PMP, se considera como agua utilizable o potencialmente extractable por las plantas en la zona de crecimiento radical, es decir de toda el agua existente en el suelo solo esa fracción es utilizada por las plantas (Quiroga et al., 2018).

4.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo

La evaluación de las condiciones físicas del suelo se realiza mediante un diagrama triangular que relaciona los valores de volumen de poros físicamente inerte, agua aprovechable y capacidad de aireación para la clasificación de la zona con la condición física que del suelo.

4.5. Riego

Según Demin (2014), los cultivos para poder crecer y desarrollarse necesitan absorber agua del suelo, el agua que requieren estos cultivos es aportada de manera natural por las precipitaciones, sin embargo cuando la lluvia es escasa o su distribución no coincide con los períodos de máxima demanda de las plantas, es preciso aportarla artificialmente, a través del riego (Cisneros, 2003).

El riego implica el suministro de agua al suelo, para dar un aporte adecuado a las plantas, favoreciendo su crecimiento, sin alterar las características físicas del suelo (Briceño et al., 2012).

Calvache (2013), considera que un buen riego humedece el suelo hasta la profundidad donde se encuentra la mayor parte de las raíces de las plantas, y este debe ser oportuno, uniforme y eficiente.

Oportuno: aplicar el agua al suelo en momentos en que las plantas requieran;

Uniforme: que no exista falta o exceso de agua en ningún lugar de la parcela de riego;

Eficiente: que se aplique la cantidad adecuada de agua, aprovechando lo mejor posible el agua disponible.

Según la técnica de riego utilizada, la clasificación de los métodos de riego se establece de acuerdo con la manera de como el agua es esparcida o distribuida sobre el suelo, dependiendo de las características topográficas, tipos de cultivo, disponibilidad del recurso hídrico, costos y posibilidad de acceder a tecnologías.

Existen distintas formas de llevar y aplicar el agua al suelo, dependiendo de las características topográficas, el tipo de cultivo, la disponibilidad del recurso hídrico, y del recurso económico, distinguiéndose esencialmente los siguientes métodos de riego; superficial o gravitacional, subsuperficial, y riego presurizado (goteo y aspersión) (Mafla et al., 2002).

4.5.1. Riego superficial o gravitacional

Se trata de métodos de riego muy conocidos y antiguos utilizados por el hombre, sin embargo, pueden producir pérdidas de nutrientes por lavado y arrastre, al no poder controlarse perfectamente las dosis de agua (Calvache, 2013). De acuerdo con la superficie del suelo surgen diferentes métodos del riego superficial entre los principales:

Riego por canteros.- Distribuye el agua en surcos, tienen forma de serpentina, la pendiente debe ser suave para tener mayor caudal (Mafla et al., 2002).

Riego por surcos.- Distribuye el agua en surcos rectos, ideal para cultivos sembrados en hileras, es superficial, recomendado en suelos de textura media a moderadamente fina con pendientes bajas (Mafla et al., 2002).

Riego por inundación.- Distribuye el agua por gravedad en la superficie del suelo, los terrenos deben ser planos o nivelados (Mafla et al., 2002).

4.5.2. Riego subsuperficial

Consiste en aplicar el agua a la planta lo más cercano posible a su sistema radicular, el agua se aplica a través de emisores integrados en ramales colocados por debajo de la superficie del suelo, la condición esencial para el uso del riego subsuperficial es que el suelo favorezca la difusión lateral y la ascensión capilar, con este tipo de riego las raíces tratan de profundizar en el suelo buscando el suministro de agua y no establecerse cerca de la superficie como en el caso del riego aéreo o sobre el suelo (Santos et al., 2010).

4.5.3. Riego por goteo

Distribuye el agua a los cultivos a través de emisores en forma de gotas de manera continua en un lugar próximo a la planta, este riego es adecuado para el suministro de pequeñas dosis con alta frecuencia, lo que permite mantener la mayor parte del suelo en buenas condiciones de aireación y de humedad, evitando el estrés hídrico (Demin, 2014).

4.5.4. Riego por aspersión

Es ampliamente usado en el mundo y se adapta bien a gran variedad de suelos, topografías, cultivos y aguas. En sistemas bien diseñados las eficiencias alcanzan hasta el 85% (Briceño et al., 2012). Este tipo de riego se encarga de distribuir el agua en forma semejante a la lluvia, el agua llega con presión por las tuberías para que pueda realizar la distribución a través de los aspersores, sin producir escorrentías, ni erosionar el suelo (Calvache, 2013).

Se requiere de equipos de bombeo, o simplemente trabajar con la gravedad, teniendo en cuenta de que exista una diferencia de nivel de al menos 10 metros entre la zona a regar y la fuente de agua (Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca [MAGAP], 2014)

- **Clasificación del riego por aspersión.**

Según Fernandez et al. (2010), los sistemas por aspersión se clasifican atendiendo al grado de movilidad de los diversos componentes que integran el sistema. Normalmente se distinguen en:

Sistemas estacionarios.- los cuales permanecen fijos mientras riegan, a su vez se pueden clasificar en: móviles, aquellos que contienen sus elementos de instalación móviles, presentan fugas de agua del 10 al 15 % en las conexiones de las tuberías; semifijos el equipo de bombeo es fijo, y la red de tuberías principales enterradas, se consideran de tubería móvil, cuando el ramal de aspersión se cambia de toma o boca de riego con los cambios de posturas de riego, y tubería fija, cuando el ramal está enterrado en el suelo y al cambiar de postura se mueven los porta aspersores y aspersores; y fijos los cuales se mantienen inmóviles todos los elementos que componen la instalación, se caracterizan en sistemas fijos permanentes, y sistemas fijos temporales.

Sistemas de desplazamiento continuo.- se encuentran en movimiento mientras aplican el agua (Santos Luis et al., 2010). Los más usuales son los Pivotes o “pívor”, que son equipos de riegos autopropulsados, constituidos por una estructura metálica (ala de riego) que soporta la tubería con los emisores; y los Cañones de riego que utiliza aspersores de impacto de gran tamaño, denominados “cañones”, trabajan a altas presiones y mojan grandes superficies de terreno.

- ***Ventajas y desventajas del riego por aspersión.***

Las ventajas y desventajas del riego por aspersión se fundamentan bajo dos aspectos: control del riego limitado por las condiciones climáticas; y la uniformidad de aplicación del agua es independiente de las características del suelo. A continuación, se presentan las principales ventajas y desventajas:

Tabla 1.

Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión.

Ventajas	Desventajas
Tiene una alta eficiencia de riego y es de fácil operación.	Las zonas con vientos fuertes disminuyen la eficiencia del riego.
Riega terrenos ondulados o poco uniformes sin necesidad de una nivelación.	Requiere estar presurizado para funcionar, lo cual implica el consumo de energía.
No existen grandes pérdidas de agua debido a que es transportada en tuberías.	Elevados costos en la tubería y accesorios.
El equipo puede trabajar un elevado número de horas al día.	Existen dificultades mecánicas cuando el agua arrastra sedimentos.

Fuente: (Cadena, 2016) y (Santos Luis et al., 2010)

- ***Componentes de un sistema de riego por aspersión.***

Un sistema de riego por aspersión está compuesto por diversas partes que van desde la boquilla del aspersor hasta las válvulas que controlan la entrada del agua al sistema (Calvache, 2013).

Fuente de agua.- En este método de riego, uno de los aspectos importantes es la fuente de agua, en la que se debe tener en cuenta tres aspectos: proveniencia del agua (fuente superficial o subterránea), calidad del agua (análisis para determinar la calidad y tipo de sales que presenta el agua) y cantidad de agua (determina la superficie a regar) Carrazón (2007).

Fuente de energía.- La fuente de energía es utilizada para llevar el agua hacia el cultivo, mediante un equipo de bombeo encargado de aspirar el agua desde una fuente elegida e impulsarla a la red de tuberías, está accionada por un motor de combustión o eléctrico, alimenta el método de riego con la presión necesaria para el funcionamiento de aspersores, o a través del desnivel topográfico, en el que se utiliza el desnivel entre la fuente de agua y el terreno de riego para transformarlo en presión (Peralta & Simpfendörfer, 2001).

Red de distribución.- La red de distribución del agua está formada por conducciones (tuberías) cerradas que llevan el agua a presión hasta los aspersores; el agua sale de ellos a gran velocidad y cae en forma de lluvia sobre el terreno (Fernández et al., 2010). Se clasifica en: *fija*, cuando las tuberías que conducen y distribuyen el agua a los sectores de riego cubren simultáneamente la totalidad de la superficie; *portátil*, cuando todas las tuberías tanto la red principal como los laterales, se trasladan a medida que se riega; *semi portátil*, cuando la red

principal suele ser fija, mientras que los laterales se trasladan de un lado a otro (Peralta & Simpfendörfer, 2001).

Aspersores.- Considerados como otro de los componentes más importante del riego por aspersión; estos determinan la eficiencia de todo el sistema (Santos Luis et al., 2010). Según la finalidad a emplearse Cadena (2016), considera que existe una alta gama de aspersores, los cuales se clasifican de acuerdo con el mecanismo de giro (martillo o de impacto, balancín, trompo, hélice, giro rápido y parcial); la presión de trabajo que se considera como baja (10 a 20 mca), media (20 a 40 mca) y alta (mayor a 40 mca); el número de boquillas (de una, dos o tres boquillas); y el ángulo de salida del chorro, bajo (menor o igual a 25°) y normal (25° a 45°).

4.6. Evaluación del riego por aspersión

En la evaluación del riego por aspersión se miden las principales variables del riego: tiempo de riego, volumen de agua, características del aspersor, dirección y velocidad del viento (Castañón, 2000). Esta evaluación permite mejorar el funcionamiento de los sistemas y originar información para su posterior utilización (Briceño et al., 2012).

4.6.1. Eficiencia de aplicación del sistema de riego por aspersión

Demin (2014), considera que la eficiencia de riego, es la cantidad de agua disponible para el cultivo que se queda en el suelo después del riego, en relación al total del agua que se aplicó. En el riego por aspersión el aspersor no distribuye uniformemente el agua debido a factores externos (p.ej. condiciones climáticas, variación de presión, etc.) lo que ocasiona que la cantidad a lo largo del chorro cambie (Castañón, 2000).

Según Zuñiga (2004) en el riego por aspersión se consideran valores referenciales para su eficiencia de aplicación los cuáles varían de 60 – 85 %, la eficiencia está relacionada con el tipo de suelo, su velocidad de infiltración, capacidad de retención de agua, profundidad, estratificación y la densidad aparente.

Tabla 2.

Eficiencia teórica por sistema

Sistema de riego por aspersión	Eficiencia (%)
Estacionarios fijos	65 – 85
Estacionarios móviles	65 – 80
Laterales ruedas	65 – 80
Cañón	55 – 70
Pívot – Avance	65 – 85

Fuente: (Prieto et al., 2014)

4.6.2. Evaluación de los componentes de la instalación

Una evaluación de los componentes de la instalación radica en realizar una inspección a simple vista de los componentes del sistema, desde tuberías, juntas, elementos de control,

piezas especiales, etc. De esta manera se podrá comprobar el estado de los diferentes componentes de la instalación y si la operación es adecuada (Fernández et al., 2010).

4.6.3. Evaluación de la Uniformidad del Riego

Briceño et al. (2012) manifiesta que conocer la uniformidad de riego es un aspecto clave en los sistemas de riego, es decir si el agua que se está aplicando es de manera uniforme. Es por ello, que el porcentaje de la uniformidad de riego en los sistemas debería superar el 90 %, sin embargo, este resultado se ve alterado por procesos asociados a variaciones en la fabricación de emisores o coeficiente de variación de manufactura y en ocasiones, a los diseños hidráulicos inadecuados que proporcionan caudales distintos para presiones de trabajo similares (Castañón, 2000; Chamba, 2020)

La baja uniformidad de riego implica la existencia de algunas zonas del suelo con exceso de agua y otras con escasez, o bien se dimensiona la lámina de riego necesaria para los cultivos, por la necesidad de aplicar agua en exceso para suplir a la zonas que reciben menos cantidad de agua, lo que representa que no consigan producciones satisfactorias (Fernández et al., 2010).

- ***Coefficiente de Uniformidad de Christiansen (CU).***

En el riego por aspersión, una forma de medir la uniformidad de riego es mediante el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU), el cual se refiere a la variación con que se reparte el agua en el suelo, expresado mediante un valor porcentual (Durand, 2017).

Con un CU elevado se obtiene mayor uniformidad en la distribución y, en consecuencia, una mayor eficiencia de riego y un incremento en la producción. Sin embargo, se requiere de equipos, que en ocasiones, se vuelve muy costosos y que están fuera del alcance de un productor convencional (Fuentes & Garcia, 1999).

- ***Uniformidad de distribución (UD) e Uniformidad de instalación (Uins).***

Bohórquez (2015), menciona que la uniformidad de distribución del riego (UD) permite conocer si las diferentes partes de un terreno que ha sido regado reciben una similar cantidad de agua, por tanto un riego poco uniforme, hará que existan zonas que reciben menos agua provocando un déficit y con ello la disminución de la eficiencia del riego. Además Burt (2004) considera que la UD se ve afectada por factores como el espaciamiento desigual de los aspersores, número diferente de aspersores por lateral u otros factores que puedan causar diferencias en el caudal (taponamiento, desgaste, variación de fabrica). Mientras que, la Uniformidad de instalación (Uins) considera las variaciones de presiones que existen en los diferentes puntos de la parcela, esto debido a las pendientes del terreno o a las excesivas pérdidas concebidas en la instalación (Fernández et al., 2010).

4.6.4. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (PEA)

En el riego por aspersión, parte del agua emitida por los aspersores se pierde por evaporación y el efecto de arrastre del viento (PEA). Según Stambouli (2011), durante el riego estas pérdidas causan la reducción de la evapotranspiración (ET), afectando de manera negativa la aplicación de agua al suelo.

Fernández et al. (2010), considera que las pérdidas por evaporación y arrastre del viento tienen una relación inversamente proporcional con el tamaño de las gotas que proporcionan los aspersores, si el tamaño de las gotas son vigorosas (gruesas) las PEA serán menores, de lo contrario si el tamaño de las gotas son demasiado pequeñas (finas) habrán mayores PEA. Así mismo Montero (2000), menciona que las PEA son mayores frente a las condiciones climáticas adversas, es decir alta temperatura, humedad, viento fuerte, etc.

Por su parte Tarjuelo (1991), complementa que estas pérdidas son del orden del 5 – 10 % bajo condiciones de demanda evaporativa moderada, sin embargo, otros autores como Martínez et al. (2005), han indicado que las PEA pueden superar el 20 %.

4.6.5. Evaluación de los índices de grosor de la gota

La distribución de las gotas de diferente tamaño tiene gran importancia, si son demasiado grandes tienen gran energía cinética y producen compactación del terreno o daño sobre las partes aéreas del cultivo; mientras que las gotas pequeñas provocan vaporización excesiva con pérdidas por evaporación y, mala uniformidad de distribución al ser fácilmente desviadas por el viento. El tamaño de las gotas depende del diámetro de la boquilla y la presión de trabajo del aspersor (Castañón, 2000).

4.6.6. Evaluación del manejo de riego

La evaluación del manejo de riego es de gran utilidad para establecer ajustes de uno o varios elementos de los que está compuesta la infraestructura del método de riego, con base a los procedimientos establecidos que nos permiten identificar los factores que afectan negativamente en la uniformidad y el análisis de los parámetros de comportamiento obtenidos de la evaluación (Briceño et al., 2012)

Para evaluar la calidad de una instalación de riego por aspersión, se debe verificar si el uso del riego es adecuado, considerando los elementos de la instalación y la uniformidad de la distribución del agua. Para ello, es necesario conocer la frecuencia y duración de los riegos; la persona encargada de hacer la evaluación estimará necesidades netas y brutas de riego en los días anteriores a la evaluación, y de esta manera se comprobará, si la cantidad de agua aplicada coincide o no con las necesidades brutas (Fernández et al., 2010).

4.7. Operación y mantenimiento de un sistema de riego

La operación de un sistema de riego se refiere al manejo de la infraestructura existente. La operabilidad está relacionada con el mantenimiento de las obras de la infraestructura, una obra bien mantenida facilitara su operación, es así como una obra funcional será regularmente mantenida (Jiménez, 2014).

El mantenimiento es asegurar una adecuada y sostenible operabilidad de las obras del sistema de riego, un mantenimiento oportuno y adecuado, evitará perjuicios a los usuarios por interrupciones no previstos (Jiménez, 2014).

4.8. Diseño agronómico

Para Camejo Barreiro et al. (2017), un diseño agronómico se obtiene mediante el cálculo de una variedad de factores importantes para implementar un método de riego, tales como: necesidades hídricas del cultivo, normas de riego e intervalos y números de riego. Así mismo, menciona que, una vez instalada la unidad de riego, un diseño agronómico siempre podría variar con respecto a los factores de tal lugar. A continuación, se detallan los aspectos considerados para el diseño agronómico:

- ***Morfología del cultivo de café***

El cultivo de café esta influenciado por factores como temperatura y la intensidad lumínica, los cuales pueden afectar directamente en las diferentes etapas de la fisiología de la planta (Blanco et al., 2003).

De la misma manera Blanco et al. (2003), asegura que los factores físicos y agronómicos son base para confirmar un ambiente óptimo para el desarrollo del café. Algunos otros factores que afectan al desarrollo del cultivo del café pueden ser: la variedad, densidad de siembra, la sombra, el manejo y nutrición empleada. Así mismo, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP] (1993) recomienda que el cultivo de café debe mantener siempre una adecuada humedad del suelo, por lo que se debe usar una frecuencia de riego de tres a cuatro riegos por semana, dependiendo de las condiciones ambientales del lugar.

- ***Necesidades hídricas de los cultivos***

El cultivo consume agua para poder desarrollarse adecuadamente, lo que permite obtener altas producciones y calidades. Fernández et al. (2010), considera que el diseño agronómico permite determinar las necesidades de agua del cultivo en la época de mayor demanda. Para ello es preciso tener en cuenta la influencia del clima (evapotranspiración de referencia) y del cultivo (coeficiente de cultivo).

- ***Evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o).***

Ortiz & Chile (2020) mencionan que la evapotranspiración de referencia es considerada como un parámetro esencial a la hora de realizar los cálculos para obtener los requerimientos de agua en un cultivo. Por lo cual es considerado un aspecto importante del diseño agronómico para un sistema de riego.

Así mismo la evapotranspiración de referencia (ET_o) permite realizar una planificación ordenada en la operación de los sistemas de riego y en la gestión de recursos hídricos, evitando una sobrestimación, el cual repercute en obras de mayor costo (Ortiz & Chile, 2020).

Por otro lado, López et al. (2010), afirman que la ET_o es la cantidad máxima de agua que se ha perdido en un cultivo hipotético. Mientras que Ortiz & Chile (2020) mencionan diversas metodologías que permiten determinar la ET_o, entre las cuales están: el tanque evaporímetro y las fórmulas empíricas, donde consideran al método de Penman–Monteith el más completo para calcular la ET_o.

Métodos para determinar la evapotranspiración potencial. - Para la determinación de la ET_o existen métodos directos e indirectos. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2006), menciona que los métodos directos son costosos, y requieren de personal de investigación suficientemente preparado, y considera que no son apropiados para mediciones de rutina, pero si para la evaluación de las estimaciones de ET_o obtenidas con los métodos indirectos, mientras que los métodos indirectos generalmente son lo más usados Sánchez (2000), considera que dentro de los principales métodos indirectos para el cálculo de la evapotranspiración se encuentran:

- Método de Thornthwaite (utiliza datos de temperatura)
- Método de Hargreaves (utiliza datos de temperatura y radiación solar)
- Método de BlaneyCriddle (utiliza datos de temperatura)
- Método de Turc (utiliza datos de temperatura y horas reales de sol)
- Método de Penman Monteith (utiliza datos de temperatura, horas reales de sol, velocidad del viento, y humedad relativa).

- ***Coefficiente de cultivo K_c.***

Para Maggiora Della et al. (2017), el coeficiente de cultivo (K_c) permite establecer los requerimientos de agua de un determinado cultivos, obteniendo así un rol esencial. También señalan que existen curvas de K_c empíricas definidas por varios autores, entre las cuales están: escala de tiempo, días de emergencia (DDE), estados fenológicos, porcentaje de tiempo a cobertura efectiva o la fracción de tiempo térmico. Según la FAO (2006), dichas curvas

describen cuatro fases: *inicial* que va desde la siembra hasta que el cultivo alcanza el 10% de la cobertura del suelo; la fase de *desarrollo* empieza cuando termina la etapa anterior y va hasta el crecimiento activo de la planta; la fase *intermedia* va desde la floración hasta que el cultivo alcanza el 70-80 % de cobertura máxima de cada cultivo; la fase *final*, va desde la madurez hasta la cosecha.

El Kc se estima experimentalmente y varía de acuerdo a la edad del cultivo, así: cultivos en etapas iniciales de crecimiento tienen tasas de ETc menores que la ETo y, por lo tanto, el Kc es inferior a 1,0; cultivos en etapas productivas tienen tasas de ETc iguales o mayores que la ETo y en este caso el Kc es igual o mayor a 1,0; y cultivos senescentes presentan tasas de ETc inferiores a la ETo y los valores de Kc son inferiores a 1,0 (Ramírez et al., 2010).

- ***Evapotranspiración del cultivo (ETc).***

La FAO (2006), define a la ETc como la combinación de dos técnicas separadas que permiten que el agua se pierda a través de la superficie del suelo por evaporación y mediante la transpiración del cultivo.

La evapotranspiración de los cultivos (ETc) es considerada de manera esencial para un manejo correcto de un sistema de riego, donde se ajusta tanto el volumen como la frecuencia de riego acorde con los requerimientos que necesiten los cultivos. Esto con el fin de asegurar los rendimientos altos y la estabilidad del riego por varios años, obteniendo así una calidad óptima del producto a cultivar, mediante el uso racional de agua y energía (García Petillo & Puppo, 2015).

Según López et al. (2010) la ETc considera las necesidades del cultivo y las condiciones ambientales para poder estimarla.

- ***Precipitación efectiva.***

Villazón Gómez et al. (2021) considera que la precipitación efectiva es solo una parte de la lluvia caída; que sirve para ser aprovechada de manera directa o indirecta por cultivos en un lugar determinado. Así mismo, la precipitación efectiva permite el diseño de nuevos sistemas de riego y la planificación en las prácticas para la producción de los cultivos.

Cada precipitación efectiva depende de factores como: características del cultivo, propiedades y estado de humedad del suelo y del comportamiento de la lluvia, además, es dependiente a la lluvia y evapotranspiración.

4.8.1. Parámetros para el diseño agronómico de riego por aspersión

- ***Lámina de agua aprovechable (LAA).***

Legarda et al. (1999), consideran que LAA es aquella lámina de agua que un suelo puede almacenar entre los límites de CC y PMP a la profundidad radical del cultivo.

- ***Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA).***

Esquit y Castro (2015), definen que la LARA representa la capacidad que tiene el suelo de retener humedad, considerada como la lámina a reponer en cada riego por unidad de superficie entre los puntos de la capacidad de campo (CC) y el umbral de riego (UR), su determinación es importante ya que determina la frecuencia de riego.

- ***Tiempo de riego (Tr).***

Según Fernández et al. (2010), es el tiempo que debe estar funcionando la instalación para aplicar las necesidades brutas de riego, así mismo considera que el tiempo de riego es utilizado en el diseño para el periodo en el que las necesidades de agua son máximas, por lo que generalmente el tiempo real de riego será menor.

- ***Frecuencia de riego.***

Para Cadena (2016), la frecuencia de riego es el número de días que transcurren entre dos riegos sucesivos, además Fernández et al. (2010), consideran que el riego es más frecuente para ciertos cultivos, bajo las siguientes condiciones:

- Cuanto menos profundo sea el suelo
- Cuanto menor sea la profundidad que alcanzan sus raíces
- Cuanto menor la capacidad del suelo para retener agua (más arenoso)
- Cuanto mayor sea la evapotranspiración (ETc)
- Cuanto peor sea la calidad del agua de riego

- ***Lámina total de riego o lámina bruta.***

Es la lámina de agua que se debe aplicar para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo, es decir la cantidad total de agua que se entrega por riego considerando la eficiencia de aplicación del sistema de riego (Maldonado, 2001).

- ***Selección del aspersor.***

La buena selección de un aspersor es importante al momento de realizar un diseño agronómico de riego, debido a que las características del aspersor y su comportamiento físico determinan el éxito en la uniformidad de aplicación del agua (Holzapfel et al., 2007).

Para la selección de un aspersor Peralta y Simpfendörfer (2001) mencionan algunos parámetros a considerar.

- El caudal del aspersor, determinado por el diámetro de las boquillas y la presión de funcionamiento.

- El alcance de un aspersor determina el radio que moja.
 - La pulverización depende del diámetro de la boquilla y de la presión de funcionamiento, el tamaño de las gotas es mayor cuando la presión de funcionamiento es menor.
 - Pluviometría o precipitación, expresa la intensidad del riego.
 - Marco de los aspersores, distancia que existe, entre líneas continuas, y entre aspersores.
- ***Intensidad de precipitación del aspersor (Ip).***

Peralta y Simpfendörfer (2001), mencionan que la intensidad de precipitación expresa la intensidad del riego por aspersión y se mide por la altura de la lámina de agua recibida en el terreno en un tiempo determinado, generalmente se expresa en mm/h.

En el diseño de un sistema de riego por aspersión es importante considerar que la lluvia media del sistema sea menor que la velocidad de infiltración del suelo, ya que de lo contrario el suelo no podrá infiltrar el agua que aplican los aspersores y se producirán pérdidas por escorrentía (Fernández et al., 2010).

4.9. Diseño hidráulico

Para Fernández et al. (2010), el diseño hidráulico determina las dimensiones de todos los componentes de la instalación de riego, de forma que se pueda aplicar el agua suficiente para los cultivos durante cualquiera de sus fases de desarrollo, además, es importante ya que consigue que la aplicación del agua en forma de lluvia sobre el suelo sea suficientemente uniforme.

- ***Red hidráulica***

La red de conducción y distribución es el conjunto de tuberías que llevan el agua desde la toma de agua en la parcela hasta los aspersores situados a las distintas unidades y subunidades de riego (Fernández et al., 2010). Según Ahmad (2013), la red hidráulica esta formada por tuberías encargadas de conducir el agua:

- Tubería principal, encargada de conducir el agua desde la fuente de abastecimiento hasta la tubería secundaria.
- Tubería secundaria, abastece a cada unidad de riego
- Tubería terciaria, encargada de distribuir el agua dentro de la subunidad de riego y es donde van ajustados los laterales.
- Laterales, generalmente reciben agua desde la tubería terciaria hasta los emisores.

4.9.1. Pérdidas de carga en tuberías

Fernández et al. (2010), indica que a medida que el agua dotada de presión circula por las tuberías y atraviesa los distintos elementos del sistema va perdiendo parte de dicha presión debido al rozamiento. A esta pérdida de presión se le denomina pérdida de carga, y se expresa en metros de columna de agua (mca).

Carrazón (2018), considera que las pérdidas de carga dependen principalmente de los siguientes aspectos:

- Velocidad media del agua, cuanto mayor sea esta, mayor serán las pérdidas
- Longitud de la tubería, puesto que en una tubería más larga se acumularán más pérdidas por rozamiento.
- Diámetro de la tubería, a menor diámetro el rozamiento será mayor.
- Material de la tubería, pues diferentes materiales tendrán también diferentes rugosidades.

4.9.2. Pérdida de carga en tubería multi – salida

Tarjuelo (2005), considera que en un lateral el caudal disminuye progresivamente debido al caudal utilizado por los aspersores, por ende, las pérdidas de fricción también disminuyen, por tal motivo es necesario corregirla. En función a la ubicación del primer aspersor se presentan tres condiciones:

- Cuando el primer aspersor está ubicado a una distancia igual al espaciamiento del resto de aspersores en un lateral.
- Cuando el primer aspersor está ubicado a la mitad de distancia de espaciamiento del resto de aspersores en un lateral.
- Cuando el primer aspersor está ubicado al inicio de la entrada del lateral.

4.10. Investigaciones relacionadas con la evaluación de sistemas de riego por aspersión

Naroua et al. (2012), en su investigación “Evaluación de los sistemas de riego por aspersión en la Comunidad de Regantes Río Adaja y propuestas para la mejora del manejo del riego”, manifiestan que, la evaluación de un sistema de riego por aspersión, permitió determinar la eficiencia de aplicación del agua relacionada con la uniformidad de aplicación, pérdidas por filtración profunda, pérdidas por escorrentía superficial, pérdidas por evaporación y arrastre durante el riego y pérdidas producidas durante transporte del agua, en su trabajo concluyen que el 92 % de los sistemas de riego evaluados es deficitario y aportan láminas de agua por debajo de la requerida en toda la superficie y recomiendan así, que es factible aumentar la frecuencia y tiempo de aplicación del riego, de la misma manera consideran que para mejorar la

uniformidad de aplicación de agua de los sistema de riego es factible escoger otras boquillas adecuadas.

Gutiérrez & Noraya (2016), en su trabajo de tesis “Evaluación del sistema de riego, por aspersión en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología”, señalan que de acuerdo al estudio realizado, las pérdidas por distribución de agua en el sistema resultaron de un 31 % de variación de caudal, sobrepasando las normas que recomiendan hasta 10 %; resaltando que en las condiciones actuales de operación del sistema de riego se pierde de regar un 31 % del área de cobertura del sistema, por ende existe una caída en la producción del cultivo versus el sistema de riego. Adicionalmente la Uniformidad de Distribución (UD) en su investigación obtenida fue de 72,15 %; obteniendo un 27,85 % de pérdidas, finalmente los autores proponen que se deben capacitar constantemente a los encargados del trabajo de campo, responsables del riego, para asegurar de esta manera la correcta explotación y mantenimiento del sistema, realizar chequeos diarios en las distintas zonas, llevando un control de los accesorios o tuberías que se encuentren en mal estado para evitar que no llegue la presión en las zonas más críticas y se presenten grandes fugas que produzcan encharcamientos en el campo y el agua se percole.

Durand (2017), en su trabajo de tesis “Evaluación del coeficiente de uniformidad de Christiansen en riego por aspersión con línea lateral unitaria en el Distrito Huambo, provincia Caylloma, región Arequipa”, concluye que de los sectores evaluados se presentaron coeficientes de uniformidad aceptable, en los horarios evaluados de 6, 12 y 18 horas, aproximándose a un 80 % de uniformidad de distribución de agua en la parcela, resultando favorable debido a una correcta disposición de los emisores (marco de riego) considerando un porcentaje de reducción de su espaciamiento (entre emisores y laterales) por incidencia del viento de hasta 15 % de reducción, a todo esto el autor en su trabajo recomienda, verificar y revisar periódicamente las presiones en los aspersores para que no afecte el diseño y asegurar una óptima uniformidad de riego, capacitar al usuario en temas de operación del sistema de riego, sobre todo en temas de viento y presión, así optimizar la uniformidad del riego, además manifiesta que el usuario tenga un conocimiento del mecanismo del aspersor, con el objeto de poder realizar los trabajos de reparación y mantenimiento.

López Maiquel et al. (2019), en su investigación “Criterios de eficiencia para la evaluación del riego por aspersión” publicada en la revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, relacionaron las variables climáticas, hidráulicas y energéticas por medio del consumo de la energía específica normalizada en el riego, de forma que les permitió caracterizar los sistemas

a nivel de proyecto y de explotación, los autores concluyeron en que los criterios de eficiencia contribuyeron a la valorización de las tecnologías de riego eficientes en las condiciones específicas de explotación para la óptima productividad del cultivo, a partir de un uso sostenible de los recursos naturales; así como permitió mejorar la toma de decisión para el mantenimiento previo.

Santacruz & Santacruz (2020), demostraron en su artículo denominado “Evaluación del desempeño del riego por en lotes con cultivo de banana en Chiapas, México” que existió una baja eficiencia de aplicación de los sistemas de riego por aspersion evaluados en su estudio. De una lámina de riego de 100 mm, sólo en el mejor de los casos, 54 mm llegaban al suelo, ello para la menor separación entre aspersores y regantes, en presencia de cultivo. En la zona estudiada, el cultivo (banano) presentó altas tasas de evapotranspiración mensual, del orden de los 26 cm, por lo que requiere de riego durante los doce meses del año, su recomendación fue reducir la separación entre aspersores y líneas regantes, aunque esto impactaría en los costos de inversión.

Chamba (2020), en su trabajo de tesis “Caracterización hidráulica del riego por goteo a partir de ensayos en ramales y unidades para su proyecto y gestión económica”, por una parte, analizan y proponen métodos de evaluación para determinar en campo las características hidráulicas de emisores, ramales y tuberías portarramales de una unidad de riego por goteo. Concluyendo que, en la unidad de campo, la curva de gasto y su coeficiente de variación se pueden determinar a partir de ensayos con diferentes presiones de funcionamiento, lo que remarca es que la realización de varios ensayos ayuda a reducir los errores por medición y que con el método propuesto de evaluación se puede determinar también la respuesta hidráulica y uniformidad del riego de la unidad.

5. Metodología

5.1. Área de estudio

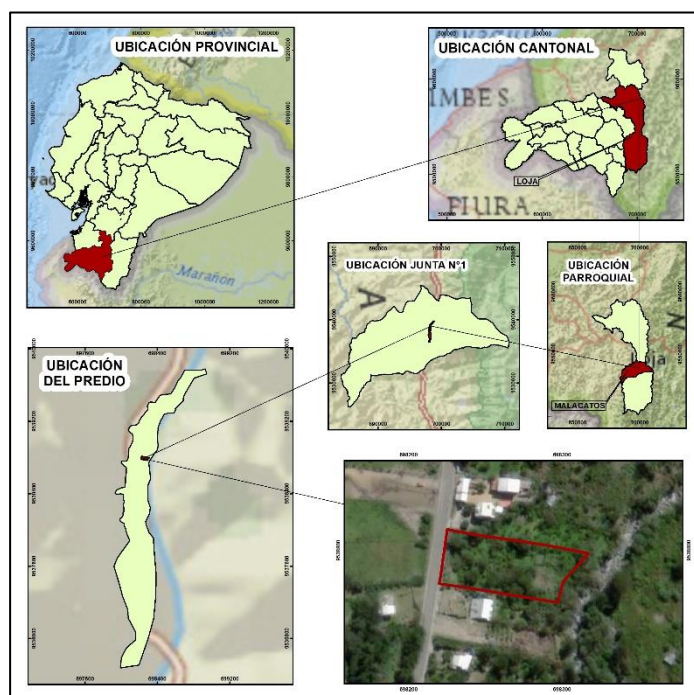
El sistema de Riego “Campana – Malacatos” se encuentra ubicado en la parroquia Malacatos, cantón y provincia de Loja, limitado al Norte: por el canal San José, al Sur por la quebrada San José, al Este por la quebrada Chorrillos y al Oeste por la quebrada San Francisco.

La zona de estudio corresponde a la Junta N° 1, del sistema de riego Campana Malacatos, en un predio del sector El Porvenir Figura 1, el cual limita al norte con la vía Malacatos – Loja, al sur con el río Malacatos, al este y oeste con propiedades privadas, ubicado en las siguientes coordenadas planas:

- Norte: 9538765 a 9538813 m
- Este: 698318 a 698221 m
- Altitud: 1620 m.s.n.m

Figura 1.

Ubicación del área de estudio



Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM)

Elaborado: La autora

5.2. Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados en la presente investigación fueron los siguientes:

Materiales y equipos de Campo: estación total / GPS diferencial, vasos pluviométricos, encuestas, cronómetro, manómetro, tabla Munsell, cilindros infiltró-metros.

Materiales y equipos de Laboratorio: balanza de precisión, estufa, probetas Bouyoucos, hidrómetro (ASTM), termómetro, cilindros Koppecky (100 cm³).

Materiales y equipos de oficina: computadora, softwares libres (procesador de datos, hojas de cálculo), sistemas de información geográfica (SIG), manuales y catálogos de equipos de riego.

Diseño estadístico y variables de medida

Considerando que el objetivo de estudio es evaluar la eficiencia del sistema de riego por aspersión, se aplicó el diseño descriptivo en la recolección, medición y análisis de datos utilizados en los objetivos planteados. Las variables consideradas para el proyecto de investigación se indican en la Tabla 3.

Tabla 3.

Variables evaluadas en la investigación

Factor/variable	Niveles	Descripción
Eficiencia de riego	Eficiencia de aplicación	Cantidad de agua aplicada
	Eficiencia de distribución	Distribución de aspersores que mojan la zona evaluada
Uniformidad	Coficiente de uniformidad de Christiansen	Es una representación estadística empleando un procedimiento aritmético simple
	Uniformidad de la zona evaluada	Es el cociente de la cantidad media de agua recogido en los pluviómetros entre la media de agua recogido de cuarta parte que han recogido menos agua.
	Uniformidad de la instalación del sistema	Basado en las presiones máximas y mínimas afectado esto por la unidad de instalación de la zona evaluada.
Sostenibilidad	Técnico	Operación y mantenimiento por los propios usuarios capacitados técnicamente
	Económico	La producción y rentabilidad generen entradas económicas que cubra los costos de operación y mantenimiento durante el tiempo de vida útil del sistema.

Elaborado: La autora

5.3. Metodología del primer objetivo

“Caracterizar los métodos de riego de la Junta N° 1 del proyecto de riego Campana Malacatos”

Para obtener los resultados de este objetivo se procedió a recopilar información de diversas fuentes acerca de la situación actual del sistema de riego Campana Malacatos, para ello se revisó informes a nivel local y provincial, reportes técnicos, resultados de investigaciones obtenidas a través de la Junta de Riego del Sistema Campana Malacatos.

Para conocer las condiciones climáticas se requirió de los Anuarios Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI] (periodo 1990 – 2013) esta

información consta de: precipitación, temperatura media, máxima y mínima, y humedad relativa.

Con la información proporcionada por la Junta de Riego del Sistema Campana Malacatos se obtuvo el número de usuarios, superficie de cada beneficiario, y problemas detectados en la Junta de riego N° 1. Así mismo, se utilizaron estudios realizados por la Universidad Nacional de Loja (UNL) para comparar y actualizar la información del sistema de riego Campana Malacatos (Junta N° 1).

Además, se efectuaron visitas de campo para conocer la situación actual del canal de riego Campana Malacatos, con la información recopilada se realizó un diagnóstico de la zona de estudio.

5.3.1. *Elaboración de encuestas*

Se realizó un cuestionario para conocer aspectos socio organizativos, de producción y métodos de riego (Anexo 19), con un previo análisis a la encuesta con la finalidad de comprobar la utilidad de las preguntas planteadas (Anexo 20).

Los recorridos en la zona de estudio (Gradillo, Santa Gertrudiz, El Porvenir, Nangora), se hicieron con el propósito de tener una comparación visual de los métodos de riego existentes, se aplicó la respectiva encuesta de forma aleatoria estableciendo diálogos de saberes y observaciones directas; con la finalidad de complementar y precisar la información colectada (Anexo 12. Figura 8). Para la determinación del tamaño de la muestra, se utilizó el número de usuarios que pertenecen a la Junta N° 1 del sistema de riego Campana – Malacatos, Tabla 4.

Tabla 4.

Número de usuarios en la Junta N° 1

Junta	Usuarios
N° 1	90

Fuente: secretaria de la Junta de Riego del Sistema Campana Malacatos

Una vez obtenidos los datos de la población de interés, se determinó el total de la muestra a investigar, considerando la fórmula descrita por Pedro & Fachelli (2015):

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{(N - 1) \times e^2 + Z^2 \times p \times q}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

e = nivel de error de desviación con respecto a la media 10 % (0,05)

N = tamaño de la población (90)

Z = nivel de confianza de la estimación con un valor del 95 %, equivalente a 1,96

p = probabilidad de tener respuestas positivas (0,5)

q = probabilidad de tener respuestas negativas (0,5)

$$n = \frac{90 \times 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5}{(90 - 1) \times 0,05^2 + 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5}$$

$n = 73$ encuestas

Con los datos recolectados, se obtuvo información socio – organizativa como: número de usuarios, directiva, producción agrícola (cultivos, destino de la producción), métodos y frecuencia de riego.

Después de haber aplicado la encuesta a los usuarios se procedió a sistematizar la información, utilizando hojas de cálculo; asimismo de los diálogos establecidos con los directivos de la Junta N° 1, se priorizó los problemas y potencialidades que presentan los usuarios de dicha junta con respecto al canal de riego.

Finalmente se realizaron mapas para la caracterización de los cultivos y el uso del suelo de la Junta N° 1, utilizando información del Geoportal del Agro Ecuatoriano y del Geoportal de Instituto Geográfico Militar (IGM).

5.3.2. Caracterización del suelo del predio

- **Descripción de la calicata del suelo.**

Se realizó una calicata de 1,2 m de ancho, 2,0 m de largo y 1,10 m de profundidad, para posterior hacer la descripción del perfil, siguiendo las normas de la “Guía para la descripción de suelos de la FAO” (2009).

- **Determinación de los parámetros físicos e hidro-físicos del suelo.**

El muestreo se realizó siguiendo la guía de la FAO (2009), se tomaron las muestras de suelo disturbadas y no disturbadas dependiendo de la necesidad del requerimiento del análisis, a una profundidad de 0 a 10 cm, y de 10 a 40 cm, cada muestra se registró con un código, fecha y profundidad de muestreo; las muestras no disturbadas se tomaron con los cilindros Koppecky (100 cm³) y se llevaron de inmediato al “Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología” de la FARNR – UNL, para la determinación de densidad aparente (gr/cm³) y saturación (%); mientras que las muestras disturbadas fueron tratadas según las normas del Laboratorio con tierra fina seca al aire (TFSA), y enviadas al “Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología” de la FARNR–UNL, para determinar textura y al Laboratorio del INIAP para los parámetros de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP).

Textura. - Para la determinación de la textura se utilizó el método del Hidrómetro de Bouyoucos, que consiste en separar las partículas por sedimentación. Los datos obtenidos

fueron reemplazados en el triángulo textural donde se determinó el tipo de textura del suelo (Anexo 2).

Densidad Aparente. - Para la densidad aparente se colocaron las muestras no disturbadas en la estufa, a 105 °C por 24 horas, para posteriormente pesarlas. Los valores obtenidos se reemplazaron en la siguiente fórmula e interpretados por la Tabla 5.

$$D_a = \frac{\text{Peso del suelo seco a } 105 \text{ } ^\circ\text{C (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}}$$

Tabla 5.

Interpretación de la densidad aparente según la textura del suelo.

Textura del suelo	Densidad aparente (g/cm ³)	Ideal para el crecimiento de raíces (g/cm ³)	Afecta al crecimiento de raíces (g/cm ³)
Finas	1,3 – 1,4	< 1,1	> 1,5
Medias	1,4 – 1,5	< 1,4	> 1,7
Gruesas	1,6 – 1,8	< 1,5	> 1,8

Fuente: (Jaramillo, 2002) & (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2000)

Saturación. - La saturación se obtuvo saturando el suelo con agua, se procedió a secar las muestras a 105 °C, las muestras se pesan antes y después de ser colocadas en la estufa, la diferencia representa el porcentaje de saturación en el suelo.

$$\% \text{ Saturación} = \frac{P_{nms} (g) - P_{ns} (g)}{P_{ns} (g)} \times 100$$

Donde:

P_{nms} = Peso neto de la muestra saturada

P_{ns} = Peso neto seco

Capacidad de campo y punto de marchitez permanente. - Estas constantes hidrofísicas se obtuvieron mediante el método de las Ollas de Richards, realizado en el laboratorio del INIAP (Anexo 3), para su interpretación se utilizó la Tabla 6.

Tabla 6.

Interpretación de los rangos de CC y PMP según la textura del suelo.

Textura del suelo	CC (%)	PMP (%)
Arenoso	5 – 16	2 – 6
Franco arenoso	10 – 20	4 – 8
Franco	15 – 30	8 – 12
Franco arcilloso	25 – 35	11 – 15
Arcillo limoso	27 – 40	13 – 17
Arcilloso	30 – 70	15 – 19

Fuente: (Flores & Alcalá, 2010)

- **Curva de retención de humedad.**

Con los datos obtenidos en saturación, CC y PMP, se construyó la curva de retención de humedad, en donde se relacionó el contenido de humedad del suelo en el eje “X” y el

potencial mátrico en el eje “Y”. Para su elaboración se utilizó los valores de los resultados de los dos primeros horizontes, debido a que estos tienen la misma textura, y pertenecen al mismo estrato de suelo.

- ***Evaluación de las condiciones físicas del suelo.***

Para la evaluación de las condiciones físicas del suelo se utilizó el diagrama triangular (Anexo 4); que relaciona los valores porcentuales del volumen físicamente inerte (VFI), agua aprovechable (AA) y capacidad de aireación (CA), con estos parámetros, se clasificó la zona de condición física del suelo; los mismos que se calcularon con las fórmulas citadas por Valverde (2007).

Agua aprovechable (AA). - Para determinar el agua aprovechable se consideró los contenidos de humedad de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, indicado en la fórmula:

$$AA (\%) = CC - PMP$$

Capacidad de aireación (CA). - La capacidad de aireación del suelo se la determinó con la diferencia de los contenidos de humedad a saturación y capacidad de campo.

$$CA (\%) = Saturación - CC$$

Volumen de poros físicamente inerte (VPFI). - El volumen de poros físicamente inerte se obtuvo mediante el volumen de sólidos del suelo (Vs) y el porcentaje de poros inútil (Vp)

$$VFI (\%) = 100 - Vs + [Vp (\% \text{ inútil})]$$

- ***Infiltración del agua en el suelo.***

La velocidad de infiltración del agua en el suelo se realizó mediante pruebas de infiltración en campo con el método del doble anillo, que consiste en obtener datos de la lámina de infiltración y su relación con el tiempo de contacto del agua con el suelo (Anexo 12. Figura 10). Con los datos de la Tabla 7 se interpretó el resultado.

Tabla 7.

Interpretación de la velocidad de infiltración según la textura del suelo

Clase Textural	Rango (mm/h)
Arenas finas y gruesas	> 250
Areno fangosa	125 – 250
Franco arenosa	60 – 125
Franca limosa	20 – 60
Franco	5 – 20
Franco Arcillosa	1 – 5
Arcillosas	< 1

Fuente: (Cartografía Temática Nacional de Ecuador [TRACASA-NIPSA], 2014)

El procedimiento seguido para el ensayo en campo fue:

- Limpieza de la zona donde se realizó el ensayo, se ubicó el anillo de mayor diámetro y luego el de menor diámetro, debidamente nivelados, a una profundidad de 10 cm.
- Luego se llenó con agua el anillo externo, y posteriormente el anillo interno, para iniciar de inmediato la toma de las lecturas en el cilindro interno del descenso del nivel de agua.
- La toma de lecturas se realizó con repeticiones a diferentes tiempos, con una duración total de 3 horas con 30 minutos, el registro de datos se realizó hasta, que el descenso del nivel de agua se estabilizó; es decir, cuando se tienen lecturas de la columna de agua con tiempo iguales o parecidas (infiltración básica), los datos obtenidos del ensayo se procesaron en hojas de cálculo, empleando el modelo matemático de la ecuación de Kostiakov.

Infiltración acumulada. - Con la ecuación de Kostiakov, se graficó la curva de infiltración acumulada, a partir del tiempo acumulado (eje "X") y la lámina acumulada (eje "Y"), la ecuación utilizada se describe a continuación:

$$I_{ac} = A \times t^B$$

Donde:

I_{ac} = Infiltración acumulada (cm)

A y B = Parámetros de la ecuación (adimensional)

t = Tiempo (min)

Infiltración instantánea. - Con la ecuación de la infiltración acumulada se determinó la infiltración instantánea detallada a continuación:

$$I_{inst} = a \times t^b$$

Donde:

I_{inst} = Infiltración instantánea (cm)

t = Tiempo (min)

a y b = Constantes negativas (adimensional), que se determinan despejando las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{a}{b + 1} \rightarrow a = A \times (b + 1)$$

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

Velocidad de infiltración básica.- Se obtuvo derivando la ecuación anterior de infiltración instantánea y se multiplica por un factor de conversión para expresarlo en horas, se

consideró los criterios propuestos por Abarca et al., (2020) quienes mencionan que se alcanza la infiltración básica (I_b) cuando la velocidad de infiltración se hace constante con respecto al tiempo (Abarca et al., 2020). La ecuación de infiltración básica se detalla a continuación y su valor se interpreta con la Tabla 8.

$$I_b = a \times (-600 \times b)^b$$

Tabla 8.

Clasificación de la velocidad de infiltración.

Velocidad de infiltración	Rango (mm/h)
Muy rápido	> 250
Rápido	125 – 250
Moderadamente rápido	60 – 125
Moderado	20 – 60
Moderadamente lento	5 – 20
Lento	1 – 5
Muy lento	< 1

Fuente: (TRACASA-NIPSA, 2014)

5.3.3. Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico fue realizado (Anexo 12. Figura 16) con GPS (Sistema de Posicionamiento Global), y estación total para determinar el área, la topografía y la línea de conducción del agua de riego que abastece al predio.

Se consideró la asignación de coordenadas sobre la superficie terrestre en la Zona 17 Sur, DATUM WGS 84 en el sistema de proyección Universal Transversal Mercator (UTM). Se procedió a descargar los datos obtenidos a una computadora para el procesamiento a través de un software donde se obtuvo la topografía con curvas de nivel, ubicación de las redes de conducción.

5.3.4. Caudal de la fuente de agua

El canal de riego Campana Malacatos, abastece de agua a los usuarios de la Junta N°1, y pasa por cabecera de la zona de estudio, el aforo se realizó con el método volumétrico.

La FAO & Hudson (1997) consideran el aforo volumétrico como el método más preciso y sencillo de calcular debido a que mide de forma directa el volumen y tiempo. Para su cálculo se utilizó la fórmula:

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

Donde:

Q = Caudal (l/s)

V = Volumen recolectado (l)

t = Tiempo empleado en el llenado (s)

5.3.5. Calidad de agua del predio de “El Porvenir”

El muestreo se lo realizó con base al protocolo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA] (2011), y del “Laboratorio de Análisis Químicos de la UNL”; para la toma de la muestra se usó un envase ámbar, teniendo precauciones para evitar la contaminación de la muestra, luego se tapó inmediatamente. Se traslado la muestra, con el identificativo ubicación, fecha, hora y nombre del propietario). Para su interpretación se utilizó la Tabla 9.

Tabla 9.

Interpretación de la calidad del agua de riego.

Parámetro	Unidad	Grado de restricción del uso		
		Ninguno	Ligero o moderado	Alto
pH			Aptitud normal 6 – 8,5	
Conductividad	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
STD	mg/L	< 450,0	450,0 – 2000,0	> 2000,0
Calcio	meq/l	0,5	0,5 – 20,0	> 20,0
Magnesio	meq/l	0,5	0,5 – 5,0	> 5,0
Sodio	meq/l	< 5,0	5,0 – 10,0	> 10,0
RAS		< 3 ,0	3,0 – 9,0	> 9,0
Carbonatos	meq/l	< 5,0	5 – 10,0	> 10,0
Sólidos suspensión	mg/L	< 5,0	50,0 – 100,0	> 100,0
Coliformes Totales	UFC	< 10,0	10,0 – 50,0	> 50,0

Fuente: (Tomas, 1999) & (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente [TULSMA], 2015).

5.4. Metodología del segundo objetivo

“Evaluar el sistema de riego por aspersión en un predio del sector el Porvenir para el cultivo de café (Coffea arábica L)”.

5.4.1. Especificaciones técnicas de los componentes de la instalación

Para conocer las especificaciones de los componentes de la instalación, se utilizaron los catálogos de materiales de riego, el plano de riego por aspersión actual (Anexo 13), plano del área de humedecimiento del riego (Anexo 14), y la investigación de Ojeda et. al (2019) del proyecto “Curvas de Absorción de Nitrógeno del café”.

5.4.2. Pérdidas de carga en la red de tuberías

Las pérdidas de carga por fricción en las tuberías se determinaron con el método de Hazen – Williams, utilizando la metodología descrita en el objetivo 3, del rediseño hidráulico.

Presiones en la lateral. - Para determinar las presiones se utilizaron las fórmulas considerando la lateral descendente, a favor del desnivel del terreno, conjuntamente se determinaron las presiones en campo para corroborar los resultados calculados.

Peralta & Simpfendörfer (2001), consideran que, de acuerdo con la topografía del terreno, en el riego por aspersión la tubería lateral se puede colocar de forma descendente que significa ganancias importantes de presión a lo largo de la tubería, sin embargo, esto conlleva

a tener pérdidas de fricción altas. Para determinar las presiones se utilizaron las siguientes fórmulas considerando el lateral descendente.

- **Presión al inicio de la lateral**

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

Donde:

$$\frac{P_o}{\gamma} = \text{Presión al inicio de la lateral (m)}$$

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

$$hf = \text{Pérdidas de carga del lateral (m)}$$

$$H_g = \text{Desnivel geométrico entre los extremos del lateral (m)}$$

$$H_a = \text{Altura del elevador (m)}$$

- **Presión al final de la lateral**

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

Donde:

$$\frac{P_n}{\gamma} = \text{Presión final de la lateral (m)}$$

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

$$hf = \text{Pérdidas de carga del lateral (m)}$$

$$H_g = \text{Desnivel geométrico entre los extremos del lateral (m)}$$

5.4.3. Evaluación de los componentes de la instalación

Se realizó una inspección visual de los componentes del sistema, considerando si los aspersores son semejantes en marca, modelo, tipo y diámetro de boquillas, altura del elevador, y presión de trabajo (Anexo 12. Figura 13); en el Anexo 7 se presenta la lista de los aspersores existentes in situ. Además, se verificó la existencia de fugas en las uniones de las tuberías, accesorios y aspersores de la instalación.

Finalmente se registró la existencia de elementos de medida y control de agua, ubicación y estado general: manómetros, reguladores de presión, entre otros.

5.4.4. Evaluación de la uniformidad del sistema de riego

Para evaluar la uniformidad del sistema de riego se utilizó el método del coeficiente de Christiansen CU (1942), y se realizaron las siguientes actividades:

Selección de la zona más representativa para determinar el CU, la misma que se estableció en campo considerando la zona más característica del predio, se consideró que la vegetación presente no influya, el ensayo se realizó con 4 aspersores, 3 de ellos de la marca

UNIRAIN (F46), y 1 de la marca UNIRAIN (P45L) cuentan con un diámetro de riego de 25 m, y sus características técnicas se presentan en el Anexo 9.

Ubicación de pluviómetros en un marco de 3 x 3 m en el área de riego de los aspersores, para recolectar la precipitación de los aspersores en evaluación.

Determinación de las características de los aspersores utilizados, presión de trabajo y caudal, se comparó con la información del catálogo del fabricante.

El ensayo se realizó con el funcionamiento de los aspersores por 60 minutos; concluido se procedió a medir el volumen de agua recogida, con ayuda de una probeta graduada (Anexo 12. Figura 14). El cálculo del coeficiente de uniformidad, se realizó utilizando la ecuación citada por Flóres et al. (2013), con los valores registrados en los diferentes pluviómetros que se instalaron.

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |X - \bar{X}_1|}{n \times \bar{X}}\right) \times 100$$

Donde:

CU = Coeficiente de uniformidad de Christiansen (%)

\bar{X} = Media de los volúmenes recogidos en cada pluviómetro (cm^3)

n = Número total de pluviómetros

$|X - \bar{X}_1|$ = Desviación de los pluviómetros individuales con respecto al promedio de caudales registrados.

Para su interpretación se utilizó la Tabla 10:

Tabla 10.

Interpretación del Coeficiente de Uniformidad

CUC (%)	Clasificación
> 90	Muy Buena
85 – 90	Buena
80 – 85	Aceptable
< 85	Inaceptable

Fuente: (Caicedo et al., 2015)

- **Uniformidad de distribución de la zona evaluada.**

La uniformidad de distribución se determinó con los volúmenes recolectados en los pluviómetros de los aspersores instalados, se aplicó la siguiente ecuación:

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

Donde:

UD = Uniformidad de distribución de la zona evaluada (%)

$V_{25\%}$ = Media de la cuarta parte de los volúmenes más bajos del total

V_m = Media de los volúmenes recogidos

- **Uniformidad de la instalación del sistema.**

Para estimar la uniformidad de instalación se midió la presión en los aspersores instalados en la zona evaluada, y se utilizó la siguiente fórmula:

$$UD_{instalación} = UD(zona) \times \frac{1 + 3 \times \sqrt{\frac{P_{min}}{P_m}}}{4}$$

Donde:

UD = Uniformidad de distribución de la zona (%)

P_{min} = Presión mínima de las que se han medido en los aspersores (kg/cm²)

P_m = Presión media de los aspersores (kg/cm²)

Para la interpretación de la uniformidad de la zona evaluada y de instalación se utilizó la Tabla 11.

Tabla 11.

Interpretación de la uniformidad de instalación

Descripción	Interpretación
> 85 %	Excelente
De 80 – 85 %	Buena
D 75 – 80 %	Aceptable
< 75 %	Inaceptable

Fuente: Fernández et al. (2010)

5.4.5. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (PEA)

Montero (2000), considera que la diferencia entre el agua recogida por los pluviómetros y el agua descargada por los aspersores son consideradas como las PEA durante el proceso de riego.

- **Lámina de agua aplicada por los aspersores (La).**

Para su cálculo se realizaron las siguientes actividades:

La medición del caudal de cada aspersor que moja la zona evaluada se determinó con la fórmula:

$$Q_{asp} = \frac{Vol \times 360}{T}$$

Donde:

Q_{asp} = Caudal del aspersor (l/h)

Vol = Volumen recogido (l)

T = Tiempo de llenado (s)

Se calculó el caudal aplicado en la zona evaluada, considerando la cuarta parte del agua de los aspersores, con la fórmula:

$$Q_a = \frac{Q_{asp1}}{4} + \frac{Q_{asp2}}{4} + \frac{Q_{asp2}}{4} + \frac{Q_{asp2}}{4}$$

Donde:

Q_a = Caudal aplicado sobre la zona evaluada (l/h)

Q_{asp} = Caudal del aspersor (l/h)

Se obtuvo la lámina de agua aplicada por los aspersores (L_a) con la fórmula:

$$L_a = \frac{Q_a}{A \times 60} \times T$$

Donde:

L_a = Lámina de agua aplicada por los aspersores (mm)

A = Área de la zona evaluada (m²)

T = Tiempo de la evaluación (min)

- **Lámina de agua recogida por los pluviómetros L_p .**

El área de la abertura de los pluviómetros se determinó con la fórmula:

$$A = 0,785 \times D^2$$

Donde:

A = Área del pluviómetro (cm²)

D = Diámetro del pluviómetro (cm)

Para la lámina de agua recolectada en los pluviómetros (L_p) se utilizó la fórmula:

$$L_p = \frac{Vol}{A} \times 10$$

Donde:

L_p = Lámina de agua recolectada por los pluviómetros (mm)

Vol = Volumen medio recolectado (cm³)

A = Área de la embocadura de los pluviómetros (cm²)

Finalmente, las PEA se calcularon con la formula:

$$P_e = 100 \times \frac{L_a - L_p}{L_a}$$

Donde:

P_e = Perdidas por evaporación y arrastre del viento.

L_a = Lámina de agua aplicada por los aspersores

L_p = Lámina de agua recogida en los pluviómetros

5.4.6. Evaluación del índice de grosor de la gota (IG)

Para evaluar el índice de grosor de la gota (IG) se midió la presión (kg/cm²) en cada uno de los aspersores evaluados, y se utilizó la fórmula de Fisher y Allen (1998) citado por (Fernández et al., 2010).

$$IG = 12,85 \times \frac{p^{1,3}}{d}$$

Donde:

IG = Índice de grosor

p = Presión en cada uno de los aspersores seleccionados (kg/cm²)

d = Diámetro de las boquillas en (mm)

5.4.7. Evaluación del manejo del riego

Una vez analizados los componentes de la instalación y la uniformidad del riego, se comprobó si el manejo del equipo de riego es correcto, para ello se procedió a conocer la manipulación del sistema de riego, frecuencia y tiempo de riego.

5.5. Metodología del tercer objetivo

“Elaborar una propuesta de manejo, operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión en el predio del sector El Porvenir”.

Con los cálculos y resultados obtenidos en los objetivos 1 y 2 se identificaron las deficiencias en el sistema de riego, por tanto, se realizó un rediseño del sistema de riego parcelario, en la parte agronómica e hidráulica.

5.5.1. Rediseño del sistema de riego por aspersión

Con la información obtenida del suelo y del cultivo, se realizó el rediseño agronómico e hidráulico del sistema de riego, el mismo que permitió calcular las necesidades hídricas del cultivo y los parámetros de riego para la planificación del uso del agua en el cultivo en las épocas de mayor demanda.

- ***Necesidades Hídricas del cultivo.***

Las necesidades hídricas del cultivo permitieron determinar la cantidad de agua que se necesita aplicar al cultivo, para satisfacer la demanda de la evapotranspiración en épocas críticas.

Evapotranspiración de referencia (ET_o). - Para la determinación de la ET_o se utilizó el método de Hargreaves (1985), este se ajusta a la variabilidad de información meteorológica de las estaciones de Malacatos, Quinara y Yangana de temperaturas (°C) y radiación solar (MJ

m²/día), considerando que las alturas de las estaciones (1 453 – 1 560 – 1 835 m.s.n.m.) se asemejan a la zona de estudio (1 620 m.s.n.m.).

La información climática se obtuvo del INAMHI, con un periodo de 23 años (1990 – 2013) (Anexo 10). Para obtener los datos de temperatura corregidos para el sector de estudio, se procedió a extrapolar los datos de las estaciones meteorológicas, por medio del gradiente térmico, aplicando la siguiente fórmula.

$$T^{\circ} = T_c - \left(\frac{0,65}{100}\right) \times A_z - A_e$$

Donde:

T° = Temperatura final (°C)

T_c = Temperatura de la estación (°C)

A_z = Altura de la zona de estudio

A_e = Altura de la estación

Luego de haber obtenido los valores corregidos de temperatura máxima, mínima y media, se aplicó la fórmula de Hargreaves y Samani (1985), citado por Sánchez (2000), para obtener los valores de ET_o .

$$ET_o = 0,0135 \times (T_{media} + 17,8) \times R_s$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración potencial (mm/mes)

T_{media} = Temperatura media (°C)

R_s = Radiación solar incidente (mm/día)

La radiación solar incidente (R_s) se determinó a partir de la radiación solar extraterrestre (aquella que llega a la parte exterior de la atmósfera).

$$R_s = R_o \times KT \times (T_{max} + T_{min})^{0,5}$$

Donde:

R_s = Radiación solar incidente

R_o = Radiación solar extraterrestre

KT = Coeficiente (0,162 para regiones del interior y 0,19 para regiones costeras)

T_{max} = Temperatura máxima (°C)

T_{min} = Temperatura mínima (°C)

Coeficiente del cultivo (Kc).- Para determinar el coeficiente de cultivo se identificó las etapas fenológicas del café, y se graficó la curva del Kc, considerando la fecha de siembra y el ciclo del cultivo en suelo con cobertura, en el eje “X” el periodo de desarrollo del cultivo y en el eje “Y” el valor del Kc propuesto por la FAO y Ramírez et al. (2010).

Para obtener el valor del K_c , se consideró las recomendaciones propuestas por la FAO (2006), de reducir los valores de K_c , debido a las condiciones de estrés hídrico que se somete intencionalmente a la plantación del café para reducir el crecimiento de la vegetación y promover el desarrollo de los frutos; además Ramírez et al. (2010), menciona que la variación del K_c es debido a la edad del cultivo de café, por tanto los cultivos en etapas iniciales de crecimiento alcanzan un valor de K_c inferior a 1; en etapas productivas el K_c es igual o mayor a 1; y en cultivos senescentes los valores de K_c son inferiores a 1,0.

Evapotranspiración del cultivo (ET_c).- Se utilizó el método propuesto por el manual 56 de la FAO (2006), en el cual la ET_c se define como el producto entre la evapotranspiración de referencia (ET_o) y el coeficiente del cultivo (K_c), mediante la fórmula:

$$ET_c = Et_o \times K_c$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

Et_o = Evapotranspiración de referencia (adimensional)

K_c = Coeficiente del cultivo (mm/mes)

Precipitación efectiva (Pe).- La Pe, se definió a través de la precipitación media de la zona de estudio; calculada a través de la metodología utilizada por Aguinsaca (2020), quien consideró el método U.S. National Weather Service, que consiste en estimar la precipitación en un centro de gravedad, por tanto, se escogió un punto central en el sitio y se determinó a partir de los datos de precipitación media de las estaciones meteorológicas que rodean la zona de estudio (Malacatos, Quinara, Yangana, Cajanuma), y se obtuvo la información proporcionada por los anuarios para un periodo de 23 años (1990 – 2013).

Con los datos de las estaciones se empleó la siguiente fórmula para cada mes.

$$P = \frac{P_1 \times \left(\frac{1}{d_1}\right)^2 + P_2 \times \left(\frac{1}{d_2}\right)^2 + \dots + P_n \times \left(\frac{1}{d_n}\right)^2}{\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} + \dots + \frac{1}{d_n^2}}$$

Donde:

P = Precipitación media ponderada (mm/mes)

P_1, P_2, \dots, P_n = Precipitaciones medias consideradas de las estaciones (mm/mes)

D_1, D_2, \dots, D_n = Distancias de cada estación hacia el punto central del sitio

Para determinar la Pe se utilizó las ecuaciones del método de la USDA S.C, descritas a continuación, bajo las siguientes condiciones.

- Cuando la precipitación total es < 250 mm.

$$P_{efec} = \frac{P_t \times (125 - 0,2 \times P_t)}{125}$$

- Cuando la precipitación total es > 250 mm.

$$P_{efec} = 125 + 0,1 \times P_t$$

Donde:

P_{efec} = Precipitación efectiva (mm)

P_t = Precipitación media total (mm)

Requerimientos de riego del cultivo de café. - Los requerimientos de riego (R_r), se calcularon realizando la diferencia ente la demanda hídrica del cultivo de café (ET_c) y la precipitación efectiva (P_e), se utilizó la siguiente formula.

$$R_r = ET_c - P_e$$

Donde:

R_r = Requerimientos de riego (mm/día)

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

P_e = Precipitación efectiva (mm/día)

Necesidades brutas de riego (N_b).- Las N_b se calcularon realizando la división de los requerimientos de riego (R_r) y la eficiencia de aplicación (E_a) considerada del 75 %, valor propuesto por Prieto et al. (2014), se determinó con la siguiente formula.

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

Donde:

N_b = Necesidades brutas de riego (mm/día)

R_r = Requerimientos de riego (mm/día)

E_a = Eficiencia de aplicación (80 %)

5.5.1.1. Diseño agronómico. - Con base a los resultados obtenidos del clima y las necesidades del cultivo, se calcularon los parámetros para el diseño agronómico, estos permitieron planificar el uso adecuado del agua para el cultivo de café en épocas de mayor demanda.

- **Lámina de agua aprovechable (LAA).**

La lámina de agua aprovechable (LAA) se determinó a través de los resultados obtenidos de las propiedades físicas e hidro físicas del suelo, profundidad efectiva de las raíces del cultivo de café, utilizando la formula citada por Legarda et al. (1999).

$$LAA = \frac{(CC - PMP) \times D_a \times P_r}{100 \times D_w}$$

Donde:

LAA = Lámina de agua aprovechable (mm)

CC = Contenido de humedad a capacidad de campo (%)

PMP = Contenido de humedad en el punto de marchitez permanente (%)

D_a = Densidad aparente (g/cm^3)

D_w = Densidad del agua (1 g/cm^3)

P_r = Profundidad radical efectiva (mm)

- **Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA).**

Según Legarda et al. (1999), para determinar la LARA, se considera el nivel de reposición conocido como umbral de riego (UR), con la fórmula:

$$LARA = LAA \times UR$$

Donde:

$LARA$ = Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

CC = Umbral de riego (%)

- **Frecuencia de riego (F_r).**

La Frecuencia de riego considera el tiempo entre los riegos que requiere el cultivo de café. Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula.

$$F_r = \frac{LAA}{ET_{c_{max}}}$$

Donde:

F_r = Frecuencia de riego (días)

LAA = Lámina de agua aprovechable (mm)

$ET_{c_{max}}$ = Evapotranspiración del cultivo máxima (mm/mes)

- **Frecuencia de riego ajustado (F_{rj}).**

La F_{rj} se realiza cuando en el cálculo no se obtienen valores de días completos, es decir se ajusta la frecuencia de riego a un valor entero, con el fin de tener un uso eficiente del agua.

- **Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada ($LARA_{aj}$).**

Para la $LARA_{aj}$ se consideró la frecuencia de riego ajustada, para su determinación se utilizó la fórmula.

$$LARA_{aj} = ET_c \times F_{rj}$$

Donde:

$LARA_{aj}$ = Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (mm)

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

F_r = Frecuencia de riego ajustada, igual a la calculada (días)

- **Lámina de riego (L_r).**

Denominada también como necesidades brutas ajustadas (N_{baj}), se utilizó la fórmula:

$$L_r = \frac{LARA_{aj}}{Efa}$$

Donde:

L_r = Lámina de riego (mm)

$LARA_{aj}$ = Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (mm)

Efa = Eficiencia del sistema de riego por aspersión (75 %)

- **Selección del Aspersor.**

La selección del aspersor se realizó de acuerdo con la velocidad de infiltración del suelo y las características que presenta el aspersor (presión, caudal, diámetro húmedo).

- **Marco de riego.**

El marco de riego se determinó considerando el diámetro mojado del aspersor establecido por el fabricante y los parámetros propuestos por Fernández et al. (2010), en disposiciones o marcos de riego cuadrados y triangulares (tresbolillo), la separación entre aspersores y ramales de aspersión debe ser el 60 % del diámetro mojado, debido a la influencia que tiene el viento en la distorsión del perfil de distribución del aspersor.

- **Intensidad de Precipitación (I_p).**

La intensidad de precipitación se calculó con la relación del caudal del aspersor y la disposición del marco de riego, partiendo del criterio que la intensidad de precipitación debe ser menor que la velocidad de infiltración, para evitar encharcamientos, pérdidas de agua por escorrentía, se utilizó la siguiente fórmula.

$$I_p = \frac{q_a}{S_a \times S_l}$$

Donde:

I_p = Intensidad de precipitación (mm/h)

q_a = Caudal del aspersor (l/h)

S_a = Distancia entre aspersores (m)

S_l = Distancia entre laterales (m)

- **Tiempo de riego (T_r).**

El tiempo de riego se determinó para conocer el tiempo que estará el sistema en funcionamiento durante el riego, se utilizó la siguiente fórmula:

$$T_r = \frac{L_r}{I_p}$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (horas)

L_r = Lámina de riego (mm)

I_p = Intensidad de precipitación (mm/h)

- **Número de aspersores por lateral (NAL).**

Para el número de aspersores por lateral se consideró la longitud del lateral con respecto a la geometría del predio y la distancia entre aspersores, a través de la siguiente fórmula.

$$NAL = \frac{LTL}{S_a}$$

Donde:

NAL = Número de aspersores por lateral (u)

LTL = Longitud del predio en dirección del lateral (m)

S_a = Espacio entre aspersores (m)

- **Longitud de la lateral (LL).**

La longitud del lateral se calculó de acuerdo con la ubicación del primer aspersor, considerando el 50 % del espacio entre aspersores con la fórmula:

$$LL = S_a \times (NAL - 0,5)$$

Donde:

LL = Longitud del lateral (m)

S_a = Espacio entre aspersores (m)

NAL = Número de aspersores (u)

- **Caudal del lateral (QL).**

El caudal del lateral se estableció a partir del caudal del aspersor indicado por el fabricante y el número de aspersores en cada lateral, con la fórmula:

$$QL = q_a \times NAL$$

Donde:

QL = Caudal del lateral (l/h)

q_a = Caudal del aspersor (l/h)

NAL = Número de aspersores (u)

- **Número de laterales en el área (NL).**

Se determinó a partir de la siguiente fórmula.

$$NL = \frac{LTS}{SI} \times n$$

Donde:

NL = Número de posición del área (u)

LTS = Longitud del terreno en dirección del secundario (m)

S_l = Espacio entre laterales (m)

n = Número de lados (1 cuando el lateral esta utilizado al mismo lado del principal y 2 cuando el lateral esta utilizado a ambos lados del principal)

- **Caudal de la tubería secundaria (Q_s).**

El Caudal de la tubería secundaria (Q_s) o de alimentación, fue determinado a partir de la siguiente fórmula.

$$Q_s = QL \times NLS$$

Donde:

Q_s = Caudal de la tubería secundaria (l/h)

QL = Caudal del lateral (l/h)

NLS = Número de laterales en la tubería secundaria (u)

5.5.1.2. Diseño hidráulico. - El diseño hidráulico permitió determinar diámetros y pérdidas de carga en la red de tuberías. La elección del diámetro se realizó por tanteos sucesivos, en función de la velocidad no erosiva, caudal y longitud de la tubería, bajo las siguientes condiciones:

Según el criterio de Christiansen (1945) citado por Espinosa et al. (1996), las pérdidas de carga por fricción (hf) y la diferencia de presiones en cada lateral no deben superar el 20% de la presión nominal (P_s) del aspersor, ($hf < 20 \% P_s$). Bajo este criterio y considerando las hf en la tubería secundaria y lateral se utilizó el factor de corrección de Christiansen.

Para el cálculo del diámetro de la tubería a utilizar se adoptó el criterio de Briceño et al. (2012), quienes mencionan que la velocidad del flujo puede variar de 0,6 a 2,4 m/s, siendo los valores más usados de 1 a 2 m/s en laterales; para obtener la velocidad del flujo se empleó la ecuación de Hazen – William.

- **Pérdidas de carga por fricción longitudinal en las tuberías.**

Las pérdidas de carga por fricción en las tuberías se determinaron a través de la fórmula de Hazen – Williams considerada para tuberías de PVC o Polietileno.

$$hf = J \times L$$

Donde:

hf = Pérdida de carga en la tubería para una longitud (m)

J = Pérdida de carga por fricción en una tubería o gradiente hidráulico (m/m)

L = Longitud de la tubería (m)

El gradiente hidráulico se determinó utilizando la fórmula:

$$J = 1,21 \times 10^{10} \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \times D^{-4,87}$$

Donde:

J = Gradiente hidráulico (m/m)

Q = Caudal (l/s)

C = Coeficiente de fricción (adimensional)

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

El coeficiente de fricción (C) es un factor adimensional que depende del material y el desgaste de la tubería. Carrazón (2018), considera los valores de C para los materiales más utilizados en los sistemas de riego que se indican en la Tabla 12.

Tabla 12.

Valores del factor C de la ecuación de Hazen-Williams.

Material	C
PVC (policloruro de vinilo)	150
PE (poliducto)	140
HG (acero galvanizado)	100

Fuente: (Carrazón, 2018)

- ***Pérdidas de carga por fricción en la secundaria y lateral.***

Las pérdidas de carga por fricción se calcularon utilizando la fórmula del gradiente hidráulico para las laterales de riego, tuberías y la longitud.

$$hf = J \times L \times F$$

Donde:

hf = Pérdida de carga en la tubería (m)

J = Pérdida de carga por fricción en una tubería o gradiente hidráulico (m/m)

L = Longitud de la tubería (m)

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

- ***Coeficiente de Christiansen (F).***

Para el F se consideró la ubicación del primer aspersor a la mitad de espaciamiento con respecto de los demás aspersores en el lateral ($Ea/2$), por tanto, se utilizó la siguiente fórmula.

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

Donde:

F = Coeficiente de Christiansen

n = Número de aspersores en el lateral.

B = Factor que depende del material de la tubería, para PVC 1,8

- **Velocidad media del flujo.**

Peralta y Simpfendörfer (2001), consideran que para determinar el diámetro de una tubería se considera la velocidad del agua, y recomiendan un diámetro y tipo de tubería donde el agua no alcance una velocidad mayor a 2,5 m/s. Utilizando la siguiente ecuación.

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

Donde:

V = Velocidad media de la tubería (m/s)

Q = Caudal de conducción de la tubería (m^3/s)

A = Área de la sección circular interna de la tubería (m^2)

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

Donde:

A = Área de la sección circular interna de la tubería (m^2)

D = Diámetro interior de la tubería (m)

- **Presiones en la lateral.**

Para las presiones en la lateral se consideró la pendiente, y topografía del terreno. Si la tubería se coloca de forma ascendente se pierde presión; mientras que si se coloca descendente se gana presión. Para su determinación se consideró las fórmulas del lateral horizontal.

Presión al inicio del lateral

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

Donde:

$\frac{P_o}{\gamma}$ = Presión al inicio del lateral (m)

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

hf = Pérdidas de carga del lateral (m)

H_a = Altura del elevador (m)

Presión al final del lateral

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4}hf$$

Donde:

$\frac{P_n}{\gamma}$ = Presión final de la lateral (m)

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

hf = Pérdidas de carga del lateral (m)

6. Resultados

6.1. Resultados del primer objetivo

6.1.1. Caracterización de los aspectos biofísicos, Junta N° 1

El canal de riego Campana Malacatos, es un sistema de riego público, transferido a los usuarios, construido en el año 1978 por el ex Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI) y puesto en funcionamiento en 1993, este sistema beneficia a 10 juntas locales de riego. Se encuentra a 1 745 m.s.n.m en el río Campana, cuenta con un caudal de 600 l/s, un área total de 832,31 ha, y un área regable de 675,01 ha.

La Junta de Riego N° 1, tiene un área aproximada de 92,30 ha, es considerada como una de las juntas más beneficiadas del recurso hídrico debido a que está ubicada en la cabecera del sistema de riego (PDOT Malacatos, 2019).

Para la caracterización de los aspectos biofísicos de la Junta N° 1, se consideró las condiciones climáticas, suelos, pendientes, uso actual del suelo, y cobertura vegetal.

- **Condiciones climáticas de la zona de estudio.**

Tabla 13.

Caracterización climática de la Junta de Riego N°1

Temp. Med Máx. (°C)	Temp. Med Min. (°C)	Temp. Med (°C)	Precip. (mm)	Hr (%)
26,13	12,09	19,51	923,80	82,60

Fuente: (INAMHI)

Elaborado: La Autora

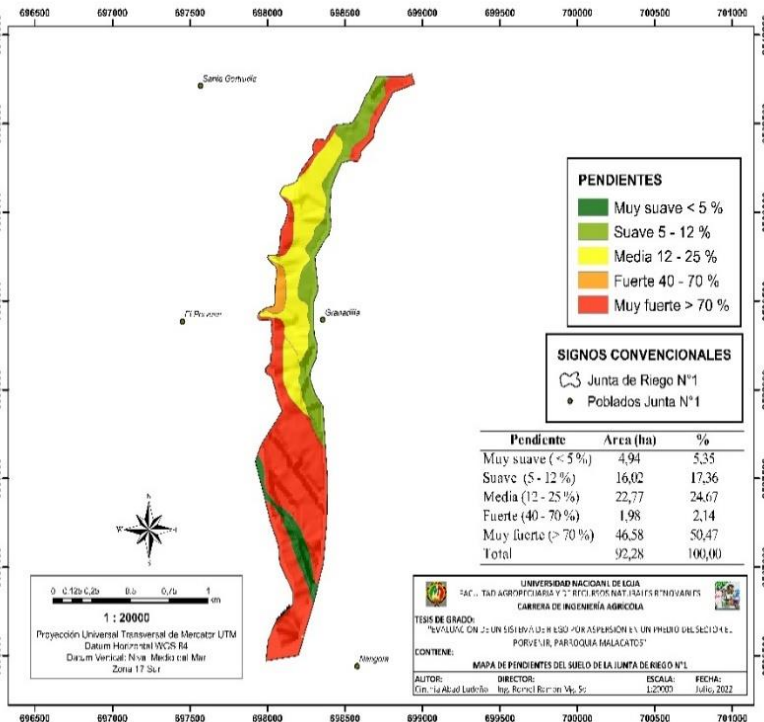
Según la clasificación de Köppen – Geiger, la zona de estudio corresponde a clima subtropical con estación seca (Aw), debido a que la temperatura media está dentro del rango de los 18 – 22 °C (Kottek et al., 2006).

- **Pendientes de la zona de estudio.**

El área de riego se caracteriza por un relieve montañoso, con pendientes fuertes, dando como resultado una topografía muy accidentada (Figura 2). De las 92,3 ha, 46,6 ha (50,50 %) presentan pendientes muy fuertes > 70 %; 22,8 ha (24,70 %) corresponde a pendientes medias que van desde el 12 – 25 %; 16 ha (17,40 %) pertenecen a pendientes suaves del 5 – 12 %; mientras que 4,9 ha (5,40 %) representan a pendientes muy suaves < 5 %; finalmente 2 ha (2,10 %) corresponden a pendientes fuertes del 40 – 70 %.

Figura 2.

Mapa de pendientes de la Junta de Riego N° 1



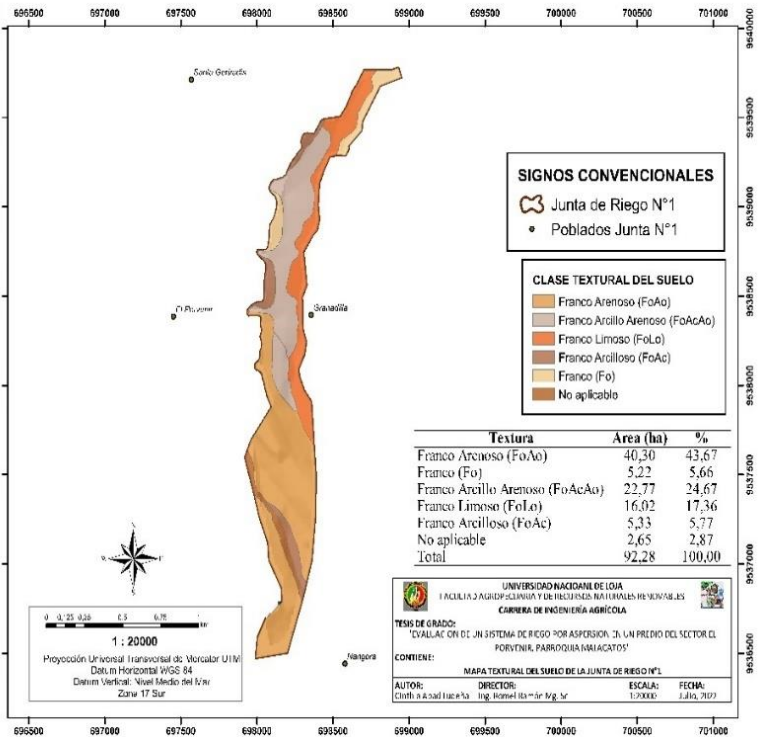
Fuente: IGM, 2020

Elaborado: La autora

- *Suelos de la zona de estudio.*

Figura 3.

Mapa textural de la Junta de Riego N° 1



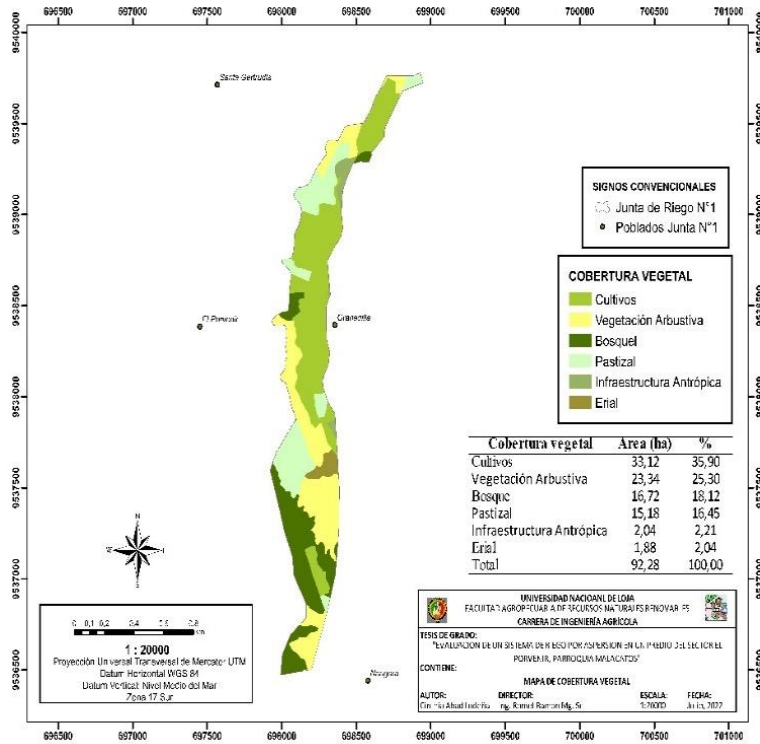
Fuente: IGM, 2020

Elaborado: La autora

La Figura 3 indica las texturas de los suelos de la Junta de Riego N° 1. Del área total de riego 40,30 ha (43,67 %) corresponden a la clase textural de FoAo; 22,77 ha (24,67 %) pertenecen a FoAcAo; 16,02 ha (17,36 %) a FoLo; 5,33 ha (5,77 %) corresponde a FoAc; 5,22 ha (5,66 %) a Fo; y finalmente 2,65 ha (2,87 %) conciernen a no aplicable.

Figura 4.

Mapa de cobertura vegetal de la Junta de Riego N° 1



Fuente: IGM, 2020

Elaborado: La autora

En la Figura 4 se identifica seis tipos de cobertura vegetal en el suelo de la Junta de Riego N°1. De las 92,28 ha, 33,12 ha corresponde a cultivos y representan el 35,90 %, 23,34 ha con vegetación arbustiva representan el 25,30 %; 16,72 ha con bosque representan el 18,12 %; 15,28 ha corresponde a pastizal con el 16,45 %; 2,04 ha con infraestructura antrópica corresponden al 2,21 %, y finalmente 1,88 ha con erial representa el 2,04 %.

6.1.2. Aspectos socio-organizativos, Junta N°1

Para conocer los aspectos sociales y organizativos del área de estudio, se realizó una encuesta con una muestra de 75 usuarios pertenecientes a la Junta de Riego N°1, se consideró un nivel de confianza del 95%.

- **Población, educación y tenencia de tierras de la Junta N° 1.**

La Junta N° 1 del canal de riego Campana Malacatos, está conformada por 90 usuarios, cuenta con una directiva para la administración, operación y mantenimiento.

Tabla 14.*Aspectos sociales de la Junta de Riego N°1*

Descripción	Frecuencia
Edad predominante	40 – 70 años (68 %)
Instrucción	Primaria (71 %)
Tenencia de tierras	Propia y Herencia (65 % y 29 %)
Superficie de terreno	Menores a 1 ha (82 %)

Elaborado: La autora

Según la Junta de Riego del Sistema Campana Malacatos (2022), de los terrenos pertenecientes a la Junta N°1, el 82 % corresponden a áreas menores de una ha, destinadas en su mayoría a la agricultura y vivienda.

- **Producción agrícola de la Junta N° 1.**

En la Tabla 15 se identifican los principales cultivos de la zona de estudio.

Tabla 15.*Principales cultivos de la Junta de Riego N° 1*

Descripción	Superficie (ha)	%
Cultivos de ciclo corto (maíz, frejol, hortalizas)	0,37	1,36
Cultivos anuales (yuca, caña)	3,49	12,73
Cultivos perennes (frutales, aguacate, cacao)	8,96	32,72
Huerta (café y guineo)	14,57	53,19
Total	27,38	100,00

Elaborado: La autora

El destino de la producción de la Junta N°1, es el autoconsumo y venta, detallado en la Tabla 16.

Tabla 16.*Destino de la producción de la Junta N° 1*

Descripción	Frecuencia
Destino de la producción	Autoconsumo 73,33 % y venta 26,67 %
Lugar de venta	Parroquia Malacatos (75,00 %)

Elaborado: La autora

Los usuarios que destinan su producción al autoconsumo consideran como una fuente de abastecimiento para asegurar su soberanía y seguridad alimentaria; mientras que los usuarios que destinan parte de la producción a la venta lo hacen con el propósito de cubrir los gastos de inversión de la producción y asegurar una fuente de ingresos (Anexo 20. Tabla 55).

- **Organización de la Junta N° 1.**

La organización en la Junta de Riego N°1 considera aspectos como la participación, costos que realizan por el derecho al agua, y los problemas que se presentan en la Junta, indicados en la Tabla 17.

Tabla 17.*Organización de los usuarios de la Junta de Riego N°1*

Descripción	Frecuencia
Participación	Si (55 %)
Costo anual del agua	15 – 25 \$/año (84 %)
Problemas presentes en la Junta de Riego N°1	Falta de compromiso de usuarios; usuarios no legalizados; impuntualidad en pagos

Elaborado: La autora

Las reuniones generalmente se realizan anualmente, y cuando existe algún daño con el sistema de riego Campana Malacatos. Así mismo, el pago por la dotación de agua es anual y con respecto a la superficie de terreno que posee cada usuario.

Con respecto a los problemas en la Junta de Riego N°1 expuestas por los usuarios consideran la falta de compromiso por parte de los usuarios, impuntualidad en los pagos, usuarios no legalizados, mientras que pocos de los usuarios consideran que no existen problemas en la Junta N°1, ya que consideran que la dotación de agua es buena debido a que existe gran cantidad (Anexo 20. Tabla 61). De los diálogos mantenidos con los miembros de la directiva de la junta N°1 acerca de las debilidades se destaca fallas en la infraestructura del sistema de riego por factores climáticos, poca respuesta de los entes gubernamentales, presencia de usuarios con superficies pequeñas que ocupan grandes caudales debido a la poca tecnificación del riego a nivel de parcela; en las potencialidades se considera las actividades de mingas, existencia de trabajadores (canaleros) en el canal de riego que son remunerados por la Junta de riego del canal, la existencia de la directiva en cada una de las 11 juntas, y finalmente la dotación de agua en forma permanente.

6.1.3. Aspectos del funcionamiento del riego, Junta N° 1

Los usuarios aplican el agua al suelo, para suplir con las necesidades hídricas de los cultivos sobre todo en temporadas secas.

Tabla 18.*Caracterización de los métodos de riego de la Junta N°1*

Descripción	Frecuencia
Formas de riego utilizado	Aspersión (58,7 %) y gravedad (41,3 %)
Instalación del riego	Propio (44,0 %), Ninguna (41,3 %) y Técnica (14,7 %)
Problemas en el método de riego	Irregularidad del agua en la parcela; problemas de instalación; pérdidas de agua al momento de regar
Costo del método de riego	< 500 \$ (61,3 %)
Frecuencia de riego	Semanal (53,3 %)
Horario de riego	Mañana (54,7 %)
Duración del riego	6 – 12 horas (54,7 %)
Caudal que ingresa al predio	0,25 – 0,5 l/h (56,0 %)

Elaborado: La autora

En la Tabla 18, se observa que los métodos de riego más utilizados en la zona de estudio es el riego por aspersión con el 58,7 %, y gravedad con el 41,3 % (Anexo 20. Tabla 62). Es importante mencionar que del 58,7 % de usuarios que utiliza el riego por aspersión, tan solo el 14,7 % realizó la instalación bajo criterios técnicos, mientras que el 44,0 % lo hizo con base a su propio criterio y experiencia, a su vez el 41,3 % de usuarios que riegan por gravedad no cuentan con ninguna instalación (Anexo 20. Tabla 63). Con respecto a inversiones en el riego parcelario, el 61,3 % de los usuarios ha invertido menos de \$ 500 (Anexo 20. Tabla 65), debido a que las instalaciones en su mayoría han sido realizadas por los mismos usuarios.

El 55,0 % de los usuarios riegan en la mañana (Anexo 20. Tabla 67), ocupando generalmente de 6 – 12 horas (Anexo 20. Tabla 68). El caudal de ingreso al predio es designado de acuerdo con la superficie de cada usuario, debido a esto el 56 % de los usuarios cuentan con un caudal que va de 0,25 – 0,50 l/s (Anexo 20. Tabla 69).

6.1.4. Caracterización de las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo del predio

6.1.4.1. Descripción general del perfil.

Suelo moderadamente profundo (110 cm), de apreciación textural gruesa, formado por cinco horizontes, sin presencia de manchas, con un buen drenaje. La parte superior del perfil presenta evidencias de rocas fracturadas, formadas a partir de un coluvión; está constituida por 5 horizontes: un horizonte Ap de 10 cm de espesor; un horizonte A₁ de 30 cm, un horizonte Bw de 20 cm, un horizonte BC de 20 cm, y un horizonte C de 30 cm.

Los horizontes no presentan manchas, por tanto, se consideran como horizontes con buen drenaje del suelo. Las raíces finas y muy finas se observan en todos los horizontes en pocas cantidades. La descripción se presenta en el Anexo 1.

6.1.4.2. Constantes físicas e hidrofísicas del suelo

En la Tabla 19, se presenta los resultados del laboratorio de las constantes físicas.

Tabla 19.

Constantes físicas del suelo del predio de “El Porvenir”

Profundidad (cm)	Textura y densidad aparente del suelo				
	Análisis mecánico % TFS			Clasificación	Densidad aparente g/cm ³
	Arena	Limo	Arcilla		
00 - 10	43,08	43,64	13,28	Fo	1,35
10 - 40	37,08	39,64	23,28	Fo	1,41

Elaborado: La autora

El horizonte Ap y A₁ corresponde a un suelo de textura franco (Fo), de acuerdo con Jaramillo (2002) & USDA (2000), los valores obtenidos de Da se encuentran en el rango para

suelos con texturas medias (Fo), y consideran al suelo apto para el crecimiento de las raíces. En la Tabla 20, se presenta los resultados del laboratorio de las constantes hidrofísicas.

Tabla 20.

Constantes hidrofísicas del suelo del predio de “El Porvenir”

Horizonte	Profundidad (cm)	Saturación pF = 0 % θ_v	CC pF = 2,52 % θ_v	PMP pF = 4,2 % θ_v
Ap	00 - 10	35,00	26,10	8,70
A ₁	10 - 40	32,50	28,00	10,00
		33,80	27,10	9,40

Elaborado: La autora

El horizonte Ap y A₁ corresponden a un mismo epipedón, y por consiguiente poseen la misma textura franca, y valores similares de contenidos de agua en el suelo, por tanto, se promedió la saturación del suelo a pF = 0 con un valor de 33,80 %, capacidad de campo obtenida a pF = 2,52 con 27,10 % y punto de marchitez permanente a pF = 4,2 con 9,40 %.

6.1.4.3. Evaluación de las condiciones física del suelo.

Tabla 21.

Valores para la curva característica de humedad del suelo

AA (% θ_v)	CA (% θ_v)	VFI (% θ_v)	Zona	Clase
17,7	6,70	75,60	I	Muy pobre

Elaborado: La autora

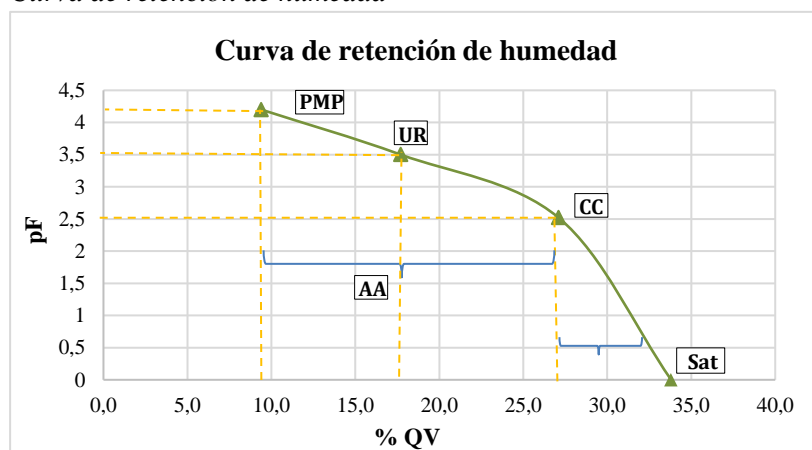
Con los valores obtenidos de la Tabla 21, se graficó a través del diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo, obteniendo que el suelo se ubica en la zona I correspondiente a la clase muy pobre (Anexo 4).

6.1.4.4. Curva de retención de humedad.

Con los datos obtenidos en la Tabla 21, se determinó la curva de retención de humedad.

Figura 5.

Curva de retención de humedad



Elaborado: La autora

La curva de retención de humedad en términos de volumen es característica de un suelo de textura franco, presenta resultados gráficos de CC 27,10 %; PMP de 9,40 %; y saturación de 33,8 %. Con estos parámetros se indica el contenido AA 17,70 % considerada como el agua fácilmente aprovechable y disponible para el desarrollo de los cultivos.

6.1.4.5. Velocidad de infiltración básica.

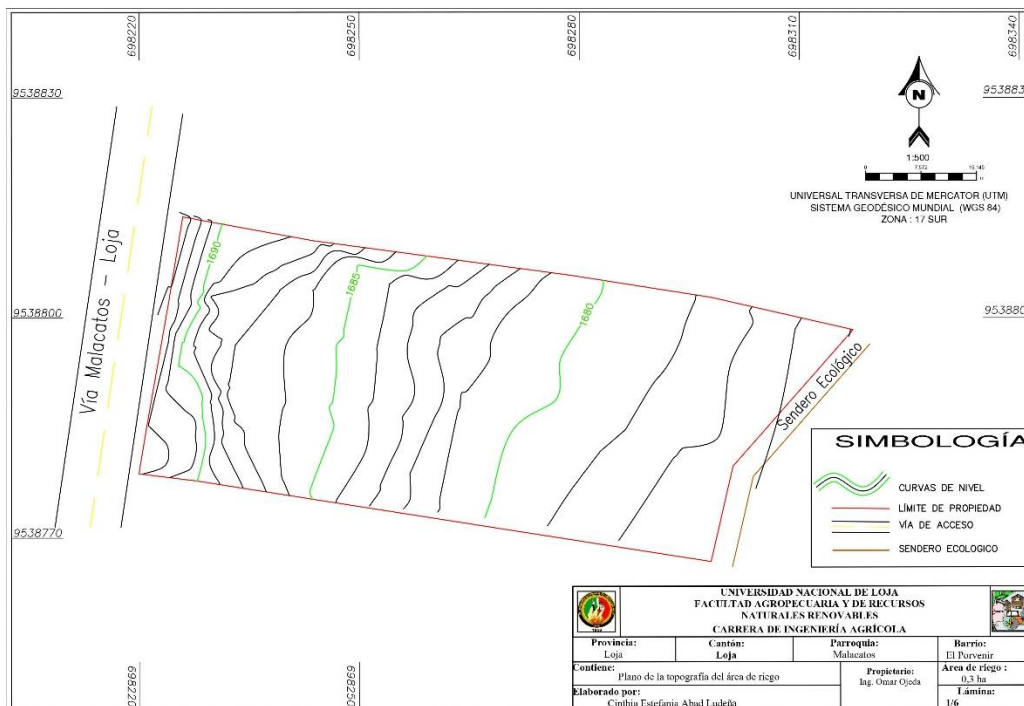
De acuerdo con las pruebas de campo y el procesamiento de la información, los valores de la velocidad de infiltración del predio varían entre 11,23 a 18,35 mm/h, con un valor promedio de 14,09 mm/h. En el Anexo 5 se detallan los resultados de campo.

6.1.5. Levantamiento topográfico de la superficie de riego

En la Figura 6, se observa el mapa topográfico de la superficie de riego, con curvas de nivel cada metro, posee un área de 0,3 ha, con una pendiente del 17 % con un rango de altitud que van desde la cota más baja de 1676 m.s.n.m hasta la más alta de 1693 m.s.n.m.

Figura 6.

Plano topográfico del predio



Elaborado: La autora

6.1.6. Caudal de la fuente de agua

El predio es abastecido por el canal de riego Campana Malacatos, la captación de agua se realiza mediante una tubería de 75 mm de diámetro; el caudal obtenido por medio del método del aforo volumétrico es de 6,66 l/s (Anexo 12. Figura 17).

6.1.7. Calidad del agua

Los resultados del análisis del agua, obtenidos del “Laboratorio de Análisis Químico de la Dirección de Investigación de la UNL” (Anexo 6), se analizaron según el uso para riego. La calidad del agua del riego es importante, debido a que afecta al rendimiento de los cultivos, a las condiciones físicas del suelo e influye en el método de riego a utilizar. Para su análisis se compararon los resultados con la Tabla 9.

Tabla 22.

Resultados de calidad de agua que llega al predio

Parámetro	Unidad	Resultado	Grado de restricción del uso
pH		7,6	-
Conductividad	dS/m	0,030	Ninguno
STD	mg/L	15,0	Ninguno
Calcio	meq/l	0,35	Ninguno
Magnesio	meq/l	0,43	Ninguno
Sodio	meq/l	0,48	Ninguno
RAS		1,71	Ninguno
Carbonatos	meq/l	0,00	Ausencia
Sólidos suspensión	mg/l	282,00	Alto
Coliformes Totales	UFC	24,00	Ligero

Elaborado: La autora

En la Tabla 22, se observa que los parámetros del agua no tienen restricciones con los criterios de calidad en el riego, el agua que llega al predio presenta valores bajos, a excepción de los sólidos en suspensión que presenta un valor de 282,00 mg/L con grado de restricción alto, y coliformes totales con grado de restricción ligero.

6.2. Resultados del segundo objetivo

6.2.1. Especificaciones técnicas de los componentes de la instalación

Tabla 23.

Especificaciones técnicas de las tuberías y válvulas de riego

Descripción	Ø nominal (mm)	Ø interior (mm)	Material	Presión de trabajo (MPa)
Tubería de conducción principal	75	70,2	PVC	0,8
Tubería de conducción secundaria	63	58,0	PVC	1,0
Tuberías laterales	40	36,8	PVC	1,0
Tubo porta aspersor	25	21,8	PVC	1,6
Válvulas (control y lavado)	40	-	PVC	1,0
Válvulas (retro lavado y distribución)	63	-	PVC	1,0

Elaborado: La autora

En la Tabla 23 se observa las características técnicas de los materiales equipos y accesorios instalados en el sistema de riego del predio, esta información se obtuvo de la observación en campo.

Tabla 24.

Especificaciones técnicas de los aspersores encontrados en campo

Cantidad	Marca/Modelo	Presión de trabajo (Ba)
2	NDJ (5022)	2,00 – 4,00
2	NETAFIM (9575)	2,00 – 4,10
3	UNIRAIN (F46)	1,38 – 5,52
5	NDJ (5035)	2,50 – 5,00
3	SENNINGER (3123)	2,70 – 3,79
5	UNIRAIN (P45L)	1,38 – 5,52
1	SENNINGER (Mariposa)	0,69 – 1,72
3	SENNINGER 4123	2,07 – 4,14

Elaborado: La autora

La Tabla 24, indica las características técnicas de los aspersores encontrados en campo, el sistema de riego del predio cuenta con 24 emisores (aspersores), de diferente marca/modelo, el número de aspersores por cada lateral de riego es diferente, la primera y segunda lateral están compuestas por 8 y 4 aspersores respectivamente, mientras que la tercera y cuarta lateral están formados por 6 aspersores.

6.2.2. Pérdidas de carga en la red de tuberías

Según Fernández et al. (2010), es importante conocer las pérdidas de carga que se producen en el riego, para considerar que exista suficiente presión en el punto más desfavorable de la instalación, y así el emisor suministre el agua adecuadamente.

Tabla 25.

Perdida por fricción en las tuberías.

Tubería	Caudal (l/s)	Longitud (m)	Ø ext. (mm)	Ø int. (mm)	Velocidad (m/s)	J (m/100)	hf (m)	F	Hf (m)
Principal	6,66	300,00	75,00	71,40	1,66	3,55	10,64	-	10,64
Secundaria	6,66	35,00	63,00	59,40	2,40	8,69	3,04	0,49	1,49
Lateral ₁	2,22	84,00	40,00	37,20	2,05	11,14	9,36	0,43	4,04
Lateral ₂	1,11	64,00	40,00	37,20	1,02	3,09	1,97	0,49	0,97
Lateral ₃	1,67	64,00	40,00	37,20	1,53	6,54	4,18	0,45	1,86
Lateral ₄	1,39	62,00	40,00	37,20	1,28	4,66	2,89	0,46	1,34
H _f Total									20,35

Elaborado: La autora

La Tabla 25, indica las pérdidas de carga en la red de tuberías, obtenidas en función del caudal y diámetro interno de la tubería. Se obtuvo en la principal, pérdidas de 10,64 m; en la secundaria 1,49 m; en la lateral₁ más crítica 4,04 m; la velocidad del agua en las tuberías es alta, debido a que se encuentran en los límites de los rangos establecidos por Fernández (2010) de 0,5 – 2,5 m/s.

Tabla 26.*Pérdidas en las laterales de riego*

Lateral	Hg (m)	hf (m)	Po (m)	Pn (m)	ΔP (m)	20 % Pn asp (m)	Condición de diseño
1	12	4,04	23,68	29,99	6,31	5,00	No Cumple
2	10	0,97	22,88	30,26	7,38	5,00	No Cumple
3	10	1,86	23,55	30,03	6,49	5,00	No Cumple
4	10	1,34	23,15	30,17	7,01	5,00	No Cumple

Elaborado: La autora

Los aspersores del sistema de riego presentan un rango de presión de 14 mca – 30 mca, por tanto, se consideró una presión nominal del aspersor de 25 mca. En la Tabla 26, se observan que las pérdidas en cada lateral de riego no cumplen con la condición de diseño $\Delta P \leq 0,2 PN_{asp}$.

Bajo estos criterios se resolvió realizar una propuesta de rediseño hidráulico para mejorar las pérdidas y velocidades que influyen negativamente en el funcionamiento del riego.

6.2.3. Evaluación física de los componentes de la instalación

Tabla 27.*Evaluación física de los componentes de la instalación.*

Componentes de riego	Características	Estado general		Observaciones
		Bueno	Regular	
Red Hidráulica				
Tubería de conducción principal	PVC 75 mm; L: 300 m	X		Las tuberías están enterradas a 0,80 m de profundidad. Los tubos porta-aspersores difieren en su altura.
Tubería de conducción secundaria	PVC 63 mm; L: 35 m	X		
Tuberías laterales	PVC 40 mm; L: 84 m	X		
Tubo porta aspersor	PVC 25 mm; L: 0,5 – 1,8 m		X	
Cabezal de riego				
Unidad de filtración (filtro de grava con retro lavado manual).	26"	X		El cabezal funciona con apertura de válvulas manuales independientes, desde el cabezal para cada módulo de riego.
Filtro de anillos mediano		X		
Manómetros (2)		X		
Válvulas de retro lavado y distribución (4)	PVC 63 mm	X		
Válvulas control y lavado de laterales (8)	PVC 40 mm	X		
Emisores de riego				
Aspersores	Marca: Netafim, NDJ Unirain, Senninger, Rango de presión 1,4 – 2,8 Ba		X	Existencia de aspersores sin boquillas.

Elaborado: La autora

En la Tabla 27, se señalan los componentes presentes en el sistema de riego con sus características, estado general y observaciones registradas, las tuberías utilizadas en el predio

se encuentran en buen estado, dado que estas se encuentran enterradas a 0,8 m de profundidad, el estado de los tubos porta – aspersores es regular, debido a las fracturas causadas por la presión que ejerce el agua; los componentes del cabezal de riego indican un buen estado, y finalmente los aspersores un estado regular.

6.2.4. Evaluación de la uniformidad del sistema de riego

Para determinar la uniformidad de riego en el sistema por aspersión se utilizó el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, en la Tabla 28 se indican las especificaciones utilizando técnicas de los aspersores utilizados.

Tabla 28.

Características de los aspersores utilizados en la evaluación

Descripción	En Campo	Catálogo
Modelo		UNIRAIN (F46)
Caudal (l/h)	314 – 830	350 – 3 702
Presión (Bares)	2,8	1,38 – 5,52
Diámetro boquilla turquesa (mm)	3,97	3,97
Diámetro boquilla amarilla (mm)	2,38	2,38
Altura del aspersor (m)	1,45	
Modelo		UNIRAIN (P45L)
Caudal (l/h)	285 – 673	609 – 3 702
Presión (Bares)	2,25	1,38 – 5,52
Diámetro boquilla turquesa (mm)	3,97	3,97
Diámetro boquilla amarilla (mm)	2,38	2,38
Altura del aspersor (m)	1,45	

Elaborado: La autora

De las pruebas realizadas en campo (Anexo 8), el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen obtenido fue de 85 %; dicho valor se obtuvo con el previo lavado de la unidad de filtrado (filtro de grava). El valor de la uniformidad de distribución de la zona evaluada fue de 70 % y la uniformidad de instalación de 67 %.

6.2.5. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento

Tabla 29.

Datos para la obtención de las pérdidas por evaporación y arrastre de viento

Descripción	Valor	Unidad
Caudal aplicado	1052,40	l/h
Lámina de agua aplicada por los aspersores L_a	8,13	mm
Área embocadura del pluviómetro	86,00	cm ²
Lámina de agua recogida por los pluviómetros L_p	6,29	mm
Pérdidas por evaporación y arrastre del viento	22,61	%

Elaborado: La autora

6.2.6. Evaluación del índice de grosor de la gota (IG)

Para índice de grosor de la gota generada por el aspersor evaluado se consideró las boquillas del aspersor, en la Tabla 30 se detallan los resultados.

Tabla 30.

Índice de grosor de la gota de cada aspersor

Presión de trabajo (kg/cm ²)	Índice de Grosor (IG)	
	4 mm	2,4 mm
2,65	11,50	19,17
2,29	9,53	15,88
2,29	9,53	15,88
2,86	12,66	21,11
Promedio	10,81	18,01

Elaborado: La autora

El rango de presión de trabajo de los aspersores fue de 2,29 a 2,86 kg/cm², en la Tabla 30 se detalla los índices de grosor de la gota obtenidos para cada boquilla del aspersor, con un promedio de 10,81 para la boquilla de mayor diámetro (4 mm) y 18,01 para la boquilla de menor diámetro (2,4 mm).

6.2.7. Evaluación del manejo del riego

En la evaluación del manejo de riego se determinó que el propietario riega mediante módulos (dos módulos), cada módulo está conformado por dos laterales de riego, el número de aspersores de cada lateral difiere, con 12 aspersores aproximadamente en cada módulo. Se evidenció que el cultivo de café aún no está implementado, pero a futuro se efectuará.

Tabla 31.

Datos del manejo del sistema de riego en el predio

Descripción	Valor	Unidad
Frecuencia de riego	15	días
Tiempo de riego	12 – 15	horas
Diámetro húmedo de riego	25	m

Elaborado: La autora

En la Tabla 31 se observa que la frecuencia de riego que utiliza el productor en épocas secas es de 15 días; el tiempo de riego varía de 12 a 15 horas, generalmente por la tarde y noche. Debido a que el agua contiene gran cantidad de sólidos en suspensión (MO), el productor realiza un previo lavado de la unidad de filtrado (filtro de gravas), cuando no se realiza el lavado del filtro la presión de trabajo disminuye de 3 bares a 2 bares en el momento del riego, dando como resultado la disminución del alcance de los aspersores. Además, el lavado del filtro de anillos se realiza semestralmente.

6.3. Resultados del tercer objetivo

6.3.1. Rediseño del sistema de riego por aspersión

6.3.1.1. Necesidades Hídricas del cultivo.

- *Evapotranspiración de referencia (ETo).*

Los valores de ETo en mm/día, se presentan en la Tabla 32.

Tabla 32.

Evapotranspiración de referencia (ETo), periodo 1990 – 2013.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
ETo (mm/mes)	144,2	128,1	140,3	132,6	127,0	116,5	121,7	131,7	141,7	154,2	147,3	149,3	1634,6
ETo (mm/día)	4,6	4,5	4,5	4,4	4,0	3,8	3,8	4,2	4,6	4,8	4,9	4,8	53,7

Elaborado: La autora

En la Tabla 32 se indica la ETo por meses, donde el valor mas alto de ETo se presenta en el mes de noviembre con un valor máximo de 4,9 mm/día; a partir del mes de diciembre hasta agosto existe una disminución de la Eto, presentando un valor mínimo en los meses de junio y julio con 3,8 mm/día.

- *Coefficiente de cultivo (Kc).*

Los valores del Kc obtenidos para las etapas fenologicas y fecha de siembre, se presentan en la Tabla 34, mientras que los resultados gráficos se presentan en el Anexo 11.

Tabla 33.

Valores de kc del cultivo de café

Mes Cultivo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Café	0,85	0,85	0,85	0,85	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,93

Fuente: Tabla elaborada a partir de datos de kc propuestos por la FAO (2006) y Ramírez et al. (2010).

Elaborado: La autora

En la Tabla 33 se presenta el valor del kc máximo mensual de 0,95 en el mes de mayo; y el valor mínimo de 0,85 en los meses de enero hasta abril en la primera etapa.

- *Evapotranspiración del cultivo (ETc).*

Los valores de la ETc obtenidos para cada mes se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34.

Evapotranspiración del cultivo (ETc) de café

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
ETc (mm/mes)	122,6	108,9	119,3	112,7	120,6	110,6	115,7	125,1	134,6	146,5	139,9	138,1	149,6
ETc (mm/día)	4,0	3,9	3,8	3,8	3,9	3,7	3,7	4,0	4,5	4,7	4,7	4,5	49,1

Elaborado: La autora

En la Tabla 34 se indica la ETc de café, que se encuentra en el rango de 3,7 a 4,7 mm/día, la ETc mas alta se registró en los meses de octubre y noviembre, con un valor de 4,7 mm/día, mientras que la Eto mas baja se registró en el mes de junio 3,7 con mm/día.

- **Precipitación efectiva (Pe).**

La Pe se determinó en función de la precipitación media mensual de la zona de estudio.

Tabla 35.

Precipitación efectiva método de U.S National Weather Service.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma
Pe mm/mes	79,7	114,6	111,9	92,0	49,0	31,0	22,1	17,5	25,8	74,9	66,6	86,7	771,6
Pe mm/día	2,6	4,1	3,6	3,1	1,6	1,0	0,7	0,6	0,9	2,4	2,2	2,8	25,5

Fuente: Anuarios metereológicos

Elaborado: La autora

En la Tabla 35, se indica la Pe anual de la zona de estudio de 771,6 mm; la mayor Pe se presentó en los meses de febrero y marzo con un valor de 114,6 y 111,9 mm/mes respectivamente, y la menor Pe en el mes de agosto con 17,5 mm/mes.

- **Requerimientos de riego del cultivo de café.**

Los requerimientos de riego para el cultivo de café, están en función de la ETc y la Pe los resultados se presentan en la Tabla 36.

Tabla 36.

Requerimientos de riego del cultivo de café.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Rr mm/mes	42,9	-	7,4	20,7	71,6	79,6	93,5	107,7	108,8	71,6	73,4	51,4	728,67
Rr mm/día	1,4	-	0,2	0,7	2,3	2,7	3,0	3,5	3,6	2,3	2,5	1,7	23,81

Elaborado: La autora

La Tabla 36 indica los requerimientos de riego para el cultivo de café, la mayor demanda se da en los meses de agosto y septiembre con 3,5 y 3,6 mm/día respectivamente; y el menor requerimiento se presentan en el mes de marzo con 0,2 mm/día.

- **Necesidades brutas de riego (Nb).**

Tabla 37.

Necesidades brutas de riego

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Nb mm/mes	57,2	-	9,8	27,6	95,5	106,2	124,7	143,6	145,1	95,5	97,8	68,5	971,6
Nb mm/día	1,8	-	0,3	0,9	3,1	3,5	4,0	4,6	4,8	3,1	3,3	2,2	31,8

Elaborado: La autora


Las necesidades netas de riego fueron calculadas considerando una eficiencia de aplicación del 75 %, siendo septiembre el mes con mayor necesidad bruta de riego con 4,8 mm/día como se indica en la Tabla 37.

6.3.1.2. Diseño agronómico.

Para el diseño agronómico del cultivo de café (Tabla 39), se consideró las propiedades hidrofísicas del suelo, selección del aspersor para las condiciones de la zona de estudio, y los requerimientos de agua del cultivo. Los planos de la propuesta del rediseño se presentan en el Anexo 15, Anexo 16, Anexo 17, Anexo 18. Por las condiciones topográficas del terreno se seleccionó el aspersor NETAFIN 9575. Las características del aspersor que indica el fabricante se detallan en la Tabla 38.

Tabla 38.

Características del aspersor seleccionado

Características	Especificación	Modelo
Tipo	Aspersor de impacto, rosca macho de ¾"	
Aplicaciones	Riego de cultivos de campo abierto	
Caudal (l/h)	1 280	
Presión (Bares)	2,5	
Diámetro de boquillas (mm)	3,96 – 2,50	
Diámetro húmedo (m)	24	
Altura del elevador (m)	2	

Elaborado: La autora

Los resultados del diseño agronómico para el cultivo de café se indican en la Tabla 39.

Tabla 39.

Diseño agronómico del cultivo de café

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Lámina de agua aprovechable	LAA	95,58	mm
Lámina de agua rápidamente aprovechable	LARA	47,79	mm
Frecuencia de riego calculada	Fr	10,39	días
Frecuencia de riego ajustada	Fr _{aj}	8,00	días
Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada	LARA _{aj}	36,80	mm
Lámina de riego	Lr	46,00	mm
Marco de riego	-	15 x 15	m
Intensidad de Precipitación	Ip	5,69	mm/h
Tiempo de riego	Tr	8,00	horas
Número de aspersores lateral crítica	NAL	2,00	U
Longitud de la lateral crítica	LL	22,50	m
Caudal del lateral	QL	0,71	l/s
Número de laterales en el área	NL	5,00	U
Caudal de la tubería secundaria	QS	3,56	l/s

Elaborado: La autora

En la Tabla 39 se observa la LAA de 95,58 mm, considerando la profundidad efectiva del cultivo de café planteada en el manual del INIAP (1993) de 400 mm, la LARA por la planta es de 47,79 mm, considerando el umbral de riego del 50 %, la frecuencia de riego fue de 10

días, considerando un manejo práctico para el sistema de riego se ajustó la frecuencia de riego a 8 días. Con la Fr_{aj} , se obtuvo la $LARA_{aj}$ de 36,80 mm, además se determinó que la cantidad de agua que se debe aplicar en el cultivo es de 46,00 mm. Con respecto al marco de riego se consideró una distribución en cuadro de 15 x 15 m, la intensidad de precipitación del aspersor es de 5,76 mm/h, siendo menor a la velocidad de infiltración básica de 6,26 mm/h.

El tiempo de riego obtenido fue de 8 horas; el número de laterales en el área es de 5 laterales con 2 aspersores por lateral, la longitud de la lateral es de 22,50 m con un caudal de 0,71 l/s. Finalmente el caudal de la tubería secundaria fue de 3,56 l/s.

6.3.1.3. Diseño hidráulico.

En el diseño hidráulico se calcularon las pérdidas por fricción en las tuberías (principal, secundaria y laterales de riego); en función del caudal, diámetro interno de las tuberías y el coeficiente de fricción de acuerdo al material de la tubería, de PVC (Tabla 11); la velocidad de las tuberías se mantuvieron dentro los rangos óptimos, menor a 2,5 m/s para tuberías principal y secundaria, y para laterales de 0,5 a 2,0 m/s; en la Tabla 40 se detallan los resultados de las pérdidas de agua de la red de tuberías.

Tabla 40.

Pérdida de carga en la red de tuberías

Tubería	Tipo	Caudal (l/s)	Longitud (m)	Ø ext. (mm)	Ø int. (mm)	Velocidad (m/s)	J (m/100)	hf (m)	F	Hf (m)
Principal	PVC	6,66	300,00	75,00	71,40	1,66	3,55	10,64	–	10,64
Secundaria	PVC	6,66	67,50	63,00	71,40	1,66	3,55	2,39	0,46	1,11
Lateral ₁	PVC	0,91	22,50	40,00	37,20	0,84	2,15	0,48	0,53	0,25
hf total										12,00

Elaborado: La autora

El sistema de riego sufre pérdidas de carga por conducción a causa de la rugosidad del material utilizado, estas pérdidas de carga son de 10,64 en la tubería principal, 1,1 m en la secundaria y 0,25 m en la lateral. La velocidad media del flujo en las tuberías se mantuvo en los rangos mencionados por Sotelo (1994) para tuberías principales y secundarias las velocidades se consideran $\leq 2,5$ m/s y ≥ 1 m/s; mientras que para laterales la velocidad son ≤ 1 m/s y $\geq 0,5$.

- **Presiones en la tubería lateral (horizontal).**

La ΔP de la tubería no superan el 20 % de la presión nominal del aspersor. Se determinó la presión al inicio del lateral de 27,69 m y al final del lateral 25,44 m, conjuntamente la presión del aspersor 25,5 m, por tanto, la ΔP desde el origen al final del lateral es de 2,25 m, cumpliendo con la condición de diseño, expresada de la siguiente manera:

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_n}{\gamma} = hf \leq 0,2 \times \frac{P_a}{\gamma}$$

$$27,69 - 25,44 = hf \leq 0,2 \times 25,5$$

$$2,25 \text{ m} \leq 5 \text{ m}$$

Por tanto, la condición de diseño se cumple en la diferencia de presiones del lateral, con una pérdida en el lateral de 0,25 m, menor al rango permisible, de 5,0 m.

- **Lista de materiales y presupuesto estimado de instalación**

Tabla 41.

Lista de materiales y accesorios del rediseño de riego por aspersión.

Descripción	Cantidad	U	Precio	Total
Preliminares				
Desbroce y limpieza	0,30	Ha	90,00	27,00
Excavación sin clasificar a mano	13,50	m3	8,95	120,83
Tubería Secundaria				
Tubo de PVC 63 mm x 6 m 1 MPa	14,00	m	20,33	284,62
TEE reductora PVC 63 mm x 40 mm	6,00	U	3,56	21,36
Válvula bola PVC 63 mm	1,00	U	20,00	20,00
Codo de PVC 90°x 63 mm	2,00	U	1,65	3,30
Tapón hembra roscado flex 2"	1,00	U	0,90	0,90
Adaptador macho rosca 63 mm x 2"	1,00	U	2,50	2,50
Tubería Lateral				
Tubo de PVC 40 mm x 6 m 1 MPa	19,00	m	5,96	113,24
Collarín PVC 40 mm rosca 1/2"	10,00	U	1,75	17,50
Codo de PVC 90°x 40 mm	5,00	U	0,82	4,10
Tapón hembra roscado flex 1 1/2"	5,00	U	0,40	2,00
Adaptador macho rosca 40 mm x 1 1/4"	5,00	U	0,82	4,10
Aspersores				
Aspersor NETAFIM 9575	10,00	U	4,10	41,00
Tubo PVC presión roscable d=1/2" x 6m	10,00	U	7,60	76,00
Unión PVC 3/4"	20,00	U	0,75	15,00
Neplo 3/4" x 30 cm	20,00	U	1,19	11,90
Material Adicional				
Cinta Teflon amarilla	1,00	U	1,00	1,00
Poli - limpia 1000 cc	1,00	U	10,00	10,00
Poli pega 1000 cc	1,00	U	10,09	10,09
Complementario				
Personal técnico	1,00	U	50,00	50,00
Instalador	2,00	U	30,00	60,00
Ayudante instalador	2,00	U	18,00	36,00
Total				\$ 937,44

Elaborado: La autora

En la Tabla 41 se indican la lista de materiales, accesorios y presupuesto estimado de instalación de la instalación del rediseño de riego por aspersión, considerando un costo de la de \$ 937,44.

7. Discusión

7.1. Caracterización de los métodos de riego de la junta N° 1

7.1.1. Aspectos biofísicos, Junta N° 1

Según la Figura 2, las pendientes de los suelos de la Junta N° 1 van desde muy suaves < 5 % en terrenos planos hasta muy fuertes < 70 % en terrenos escarpados, corroborado así con la información del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Malacatos (2019).

La textura que presentan los suelos en la zona según la Figura 3, son FoAcAo, FoLo, FoAc, las clases texturales influyen en las actividades agrícolas, y en la forma de riego, Salgado (1990), menciona que la textura del suelo es un indicador importante en la selección del método de riego, en suelos de textura media, generalmente se adapta riego por aspersión o microaspersión, y en suelos arenosos el riego por goteo. Con respecto a la cobertura del suelo la Figura 4 indica que existen 6 tipos coberturas, siendo los cultivos los más predominantes en la zona de estudio, esto coincide con lo mencionado por Chamba et. (2018) donde señalan que la cobertura más abundante son los cultivos (frutales).

7.1.2. Aspectos socio – organizativos, Junta N°1

Según el PDOT parroquial de Malacatos (2019), el canal Campana Malacatos beneficia a 1127 usuarios, de los cuales 90 usuarios pertenecen a la Junta N°1, cuyas fincas se ubican en los barrios El Granadillo, Santa Gertrudis, El Porvenir y Nangora.

De acuerdo con la Tabla 14, el rango de edad de los usuarios está comprendida de 40 a 70 años, considerada como una población adulta, el 71 % de los usuarios tienen nivel de educación primaria, esta información permite comprender el grado de formación y nivel de desarrollo de los usuarios, este escenario influye en el manejo del riego, y en la productividad de la zona. Del total de los terrenos de la zona, el 82 % se distribuyen en áreas menores a 1 ha, lo que ha ocasionado la creación de minifundios, en su mayoría los terrenos están destinadas a la producción agrícola y vivienda, además el 94 % de los usuarios son dueños de sus terrenos, el 65 % adquiridos y el 29 % heredados; esto refleja que la tenencia de tierras en la zona no es una limitante para la actividad agrícola; esto se ve reflejado por el PDOT de Malacatos (2019), el cual menciona que la población en general poseen terrenos propios o totalmente pagados.

Dentro de los terrenos dedicados a la producción agrícola, la Tabla 15 menciona que los terrenos son ocupados por cultivos como: café y guineo con 14,57 ha, frutales, aguacate, cacao con 8,96 ha, yuca y caña con 3,49 ha; en menor proporción destacan los cultivos maíz, frejol y

hortalizas con 0,37 ha, así mismo Chamba et. (2018), consideran que la Junta N°1 es una zona productiva con cultivos predominantes como la caña, frutales, maíz, frejol y guineo.

La participación de los usuarios es preocupante debido a que el 55 % de usuarios participan activamente, es decir asisten a las reuniones, mingas, y colabora para el desarrollo de la organización, mientras que el 45 % no tiene gran participación, debido a que no viven en sus fincas, son fincas vacacionales, tienen limitaciones de tiempo, poco interés de participar en los asuntos de la Junta de Riego (Tabla 17).

7.1.3. Aspectos del funcionamiento del riego, Junta N° 1

Los métodos de riego utilizados en la zona de estudio son el riego por aspersión con el 58,7 % y gravedad con el 41,3 %, esto coincide con Morocho (2017) quien menciona que en el canal de riego Campana – Malacatos generalmente se utiliza el riego por aspersión (40 %), gravedad (55 %), en menor frecuencia el goteo (3 %); y en algunos casos ningún método (2 %). Además de los usuarios que usan el riego por aspersión el 44,0 % de las instalaciones no están tecnificadas, debido a la falta de asesoría técnica y escasos recursos económicos con inversiones menores a \$ 500, tan solo el 14,7 % de las instalaciones son hechas bajo criterios técnicos con inversiones que van desde \$ 500 a \$ 3000, mientras que el riego por gravedad lo realizan de manera tradicional (Tabla 18).

7.1.4. Caracterización de las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo del predio

El suelo del predio es moderadamente profundo con 1,10 m, formado por cinco horizontes, sin presencia de manchas, con un buen drenaje, esto se corrobora con Ordoñez (2018), quien en su investigación en el mismo predio describe el perfil del suelo como poco profundo, drenado, con relieve ligeramente plano, con pequeñas ondulaciones.

Para riego se consideró los dos primeros horizontes por la profundidad efectiva de raíces, estos pertenecen a suelos con textura franco (Fo), con densidad aparente de 1,3 g/cm³ y 1,4 g/cm³ respectivamente, según Valarezo et al. (1998), son considerados valores significativamente altos al límite mayor del rango común para suelos de textura Fo; lo que en consecuencia responde a un moderadamente volumen de poros (33,8 %).

Considerando los rangos de los suelos de la región Sur del Ecuador descritos por Valarezo et al. (1998) la CA es baja (6,7 %); y por tanto el valor del AA se encuentra en el rango alto (17,7 %), con 27,1 en volumen de agua a CC, mientras que el VFI es de 75,60 %, valor considerado como alto. Como resultado de la baja capacidad de aireación, la condición física del suelo se ubica en la zona I correspondiente a la clase muy pobre del diagrama triangular.

El suelo del predio presenta una velocidad de infiltración de 14,02 mm/h, similar al valor obtenido en el mismo predio por Ojeda et al. (2019), con una velocidad máxima de infiltración de 12,5 mm/h; de acuerdo a la clasificación de TRACASA – NIPSA (2014), se considera como una velocidad moderadamente lenta, el mismo autor advierte que una velocidad de infiltración moderadamente lenta produce pérdidas considerables de agua en el riego si no se lo realiza adecuadamente.

7.1.5. Calidad del agua que llega al predio de “El Porvenir”

Los resultados presentados en la Tabla 22, indican que el agua no presenta restricciones de uso para riego, con pH de 7,6 considerado como ligeramente alcalina, según Ruiz (2008), un valor de CE de 0,030 dS/m no representa peligro, debido a que el agua está prácticamente libre de sales, por el contrario Carrazón (2018) menciona que el agua con CE inferior a 0,2 dS/m es corrosiva y tiende a lavar el suelo superficial de minerales y sales solubles, especialmente al calcio, perjudicando la estructura del suelo, puesto que sin sales y sin calcio, el suelo se disgrega y las partículas resultantes rellenan los poros del suelo y sellan la superficie, afectando la tasa de infiltración.

Según Swistock (2021), el RAS permite valorar las concentraciones relativas de sodio, calcio y magnesio en el agua de riego, y sus son efectos perjudiciales en la estructura y permeabilidad del suelo, un valor de RAS inferior a 2,0 es seguro para la planta, por tanto el valor obtenido de 1,71 no genera efectos negativos en la planta y el suelo.

Los sólidos en suspensión que presenta el agua son de 282,00 mg/l, la FAO (s. f.) en su publicación afirma que la presencia de detritos sólidos en el riego por aspersión baja la eficiencia del sistema, puesto que taponan los picos de los aspersores, variando el caudal de distribución. Además, las partículas duras, desgastan las boquillas, afectando la uniformidad de distribución del agua.

7.2. Evaluación del sistema de riego por aspersión

7.2.1. Pérdidas de carga en la red de tuberías

Se obtuvieron altas velocidades de agua de 1,66 m/s en la principal, 2,40 m/s en la secundaria y 2,05 m/s en la lateral crítica (Tabla 25), según de Briceño et al. (2012), la velocidad para laterales sobrepasa los límites debido a la longitud de la tubería, cuanto más larga sea habrán más pérdidas por rozamiento; y por el diámetro de la tubería, a menor diámetro mayores pérdidas.

La condición de diseño, no se cumple puesto que la diferencia de presión al inicio y final del lateral es mayor al 20 % de la presión nominal del aspersor, dado que los laterales son descendentes con sentido perpendicular a las curvas de nivel, según Nuñez (2017), los laterales descendentes son favorables puesto que, las pérdidas de carga son compensadas en el desnivel topográfico, siempre y cuando la pendiente del terreno sea menor al 5 %, en el presente estudio considerando el lateral crítico, este presentó un desnivel topográfico de 12 m, con una diferencia de presión de 6,31 m, mayor al 20 % de la presión nominal del aspersor de 5 m; esto se corroboró en campo obteniendo en el lateral crítico una diferencia de presión 7,65 m; por tanto la ubicación de los laterales de riego en ese sentido con las condiciones que presenta el predio no son favorables.

7.2.2. Evaluación de la uniformidad del sistema de riego

La uniformidad del riego es de 85 %, y según la clasificación de Caicedo et al. (2015), este valor corresponde a una uniformidad de riego aceptable, en campo se realizaron tres repeticiones, en la primera se obtuvo un valor bajo de 39 % debido a que vegetación del predio obstruyó a los pluviómetros recoger el volumen de los aspersores, en la segunda repetición la presión del sistema disminuyó, debido a la acumulación de sólidos en suspensión del filtro de arena dando un CU de 74 % y en la tercera realizando el previo lavado de filtro se obtuvo un CU del 85 %.

La uniformidad de distribución e instalación del riego son 70 % y 63 % respectivamente valores que según Fernández et al. (2010), corresponde a uniformidades inaceptables. Maroufpoor et al (2010), en su investigación mencionan que la uniformidad depende de las variables del diseño de riego, condiciones de campo y la velocidad del viento; en el presente estudio, se evidenció que la uniformidad del riego, está afectada por el inadecuado marco de riego; la variación de presiones debido a la obstrucción de sólidos y la altura variada de los porta-aspersores, de este modo Durand (2017), aclara que los porta – aspersores deben poseer una altura uniforme y asegurar el libre pase del agua por encima del follaje de las plantas.

7.2.3. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento

Fernández et al. (2010), mencionan que la evaporación de las gotas que producen los aspersores y el arrastre de estas por efecto del viento influyen negativamente en el riego por aspersión, considera que en condiciones normales donde la velocidad del viento es menor a 2 m/s, las pérdidas estarán en torno al 5%; sin embargo la velocidad del viento en la zona de estudio según Ordoñez (2018), es de 1,3 m/s, y las pérdidas por evaporación y arrastre del viento fueron de 22,6 % (Tabla 29), por lo que se demostró que a más de la velocidad del viento, están

influenciadas por la presión de trabajo, diámetro de las boquillas del aspersor, y la altura del porta – aspersor, esto se corrobora con Tarjuelo (1991) quien sostiene que en condiciones severas las pérdidas pueden ser considerablemente mayores.

7.2.4. Evaluación del índice de grosor de la gota (IG)

Según Fernández, et al. (2010), el IG de la gota recomendable está entre 7 y 17, valores menores a 7 indican gotas muy gruesas y valores mayores a 17 gotas muy finas; los valores obtenidos en la Tabla 30 estiman una distribución del agua alta, con valores del IG de la gota de 10,8 en la boquilla de 4 mm, mientras que el agua liberada por la boquilla de 2,4 mm es fragmentada en gotas más finas con un IG de la gota de 18,0 este valor indica que la distribución del agua se ve afectada negativamente, debido a la evaporación de las gotas con el viento.

7.2.5. Evaluación del manejo del riego

Gurovich (1985), señala que el riego es más eficiente considerando tiempos adecuados a las características de infiltración ya que por el contrario demasiada agua aplicada al suelo puede ser perjudicial, debido a que ocasiona mala aireación, y en el peor de los casos en terrenos con pendientes altas, se producen efectos de escorrentía, bajo este criterio se considera que el manejo del riego no es adecuado debido al tiempo excesivo de riego por parte del productor, lo que ha ocasionado que exista encharcamiento del agua en el suelo.

7.3. Elaboración de una propuesta de manejo, operación y mantenimiento del sistema de riego

7.3.1. Rediseño del sistema de riego por aspersión

7.3.1.1. Necesidades Hídricas del cultivo.

La ETo en la zona de estudio es de 4,5 mm/día; presenta el mayor valor en noviembre con 4,9 mm/día; y mínima en junio con 3,8 mm/día, dichos resultados concuerdan con los obtenidos por Cuenca (2021), para la Junta dos del canal de riego Campana Malacatos, con un valor máximo en noviembre de 3,5 mm/día y un mínimo en junio de 3,1mm/día. Con los datos obtenidos de la FAO (2006), y de Ramírez et al. (2010), se estimaron los valores del Kc de café para sus etapas fenológicas, el máximo en mayo con 0,95 y mínimo en enero con 0,85.

Con respecto a los valores de la ETc de café, se registró el valor más bajo en junio de 3,6 mm/día, mientras que octubre registro mayor ETc de 4,6 mm/día, Cisneros et al. (2015), en su estudio mencionan que la ETc de café, esta influenciado por el año de producción y las condiciones climáticas, dándose la mayor ETc en el primer año con un valor de 4,74 mm/día,

para ambientes cálidos con condiciones de precipitación de 660,6 mm y humedad relativa de 75,5 – 84,5% condiciones similares a la zona de estudio.

La Pe mayor se presentó en febrero y marzo con 111,7 y 117,1 mm/mes respectivamente, y la Pe menor en agosto con 18,3 mm/mes, valores son corroborados por la investigación de Cañar (2016), la mayor Pe para la misma zona de estudio se presentó en los mismos meses con 131,3 y 128,7 mm/mes y la menor Pe en julio y agosto con 8,2 mm/mes.

7.3.1.2. Diseño agronómico.

En la Tabla 38, se indica las características del aspersor elegido el NETAFIM 9575 que arroja un caudal de 1 280 l/h, cubriendo un diámetro de humedecimiento de 24 m, traslapados de forma cuadrado, funcionando 8 horas, una vez por semana para satisfacer una lámina de riego de 46 mm, según Fernández et al. (2010), no es conveniente que la frecuencia de riego sea mayor a una semana debido al riesgo de que sufra un déficit de agua.

Fernández et al. (2010), consideran que el viento es uno de los principales elementos que distorsiona el perfil de distribución del aspersor, también Peralta y Simpfendörfer (2001), mencionan que la velocidad del viento provoca deformación en el patrón de humedecimiento, por tanto se consideró el 60% del diámetro mojado obteniendo un marco de riego a 15 x 15 m de acuerdo con las especificaciones del catálogo del aspersor con un $CU \geq 88 \%$ y $< 92 \%$.

La I_p del aspersor es de 5,69 mm/h, siendo menor a la velocidad de infiltración básica de 14,02 mm/h, por tanto, la condición de $I_p \leq VIB$ se cumple, y por ende se deduce que la selección del aspersor y el marco de riego han sido correctos, a su vez Fernández et al. (2010), afirman que al cumplirse la condición $I_p \leq VIB$ el agua que aplican los aspersores se logrará infiltrar sin producir encharcamiento ni escorrentía.

7.3.1.3. Diseño hidráulico.

López et al. (2019), considera que el sentido de las laterales de riego tiene un impacto significativo en la distribución uniforme del agua y en la eficiencia del sistema de riego, por tanto bajo este criterio en el rediseño las laterales se ubicaron a favor de las curvas de nivel.

Se determinó la presión al inicio del lateral₁ de 27,69 m y al final de 25,44 m, el 20 % de la presión de funcionamiento del aspersor es de 5 m, por tanto, la diferencia de presiones desde el origen al final del lateral es de 2,25 m, menores a 5 m de presión permitida, por lo que se cumple con la condición de diseño; Sotelo (1994), considera que es importante tener en cuenta la presión de la lateral en el diseño y la planificación de un sistema de tuberías, ya que puede afectar el flujo y la eficiencia del sistema.

8. Conclusiones

La Junta N°1 cubre una superficie de 92,3 ha, la tenencia tierras es propia (94 %), y arrendada (6 %), del total de terrenos pertenecientes a esta Junta el 82 % corresponden a áreas menores de una ha, destinadas en su mayoría a la agricultura y vivienda. Los métodos de riego de mayor uso por los usuarios son de manera tradicional gravedad (41,3 %) y aspersión (58,7 %) mismo que no está siendo usado de una manera tecnificada, debido a que el 85,3 % de las instalaciones del riego han sido realizadas con base a su experiencia sin asesoría técnica y en algunos casos los usuarios no cuentan instalaciones, tan solo el 14,7 % de los usuarios cuenta con riego tecnificado; los problemas en la técnica del riego se dan por la irregularidad del agua en la parcela y por la pérdida de agua al momento de regar.

El suelo está clasificado en la zona I, denominada muy pobre, debido a la baja CA (6,7 %), y el alto valor de AA (17,7 %). El agua que ingresa al predio es apta para el uso agrícola, debido a que presenta baja peligrosidad salina y sódica.

En la evaluación del riego el CU fue de 85 %, considerada como aceptable, mientras que la $UD_{25\%}$ y la U_{ins} fueron del 70 % y 63 % respectivamente, consideradas como inaceptables, las pérdidas por evaporación y arrastre del viento obtenidas son del 22,61 % estimadas como altas por tanto se debe considerar una adecuada altura del porta – aspersores en función del cultivo de café, el IG de la gota es de 10,81 (\varnothing 4 mm) y 18,01 (\varnothing 2,4 mm), con respecto al manejo de riego se determinó que actualmente se está regando con una frecuencia de riego 15 días, un tiempo de riego de 12 horas, haciendo un previo lavado de filtro.

La propuesta del rediseño de riego se realizó en función al diseño agronómico e hidráulico; en el diseño agronómico se determinó una frecuencia de riego de 8 días, con un tiempo de riego de 8 horas para suministrar la lámina de riego de 46,00 mm. En el diseño hidráulico, se obtuvieron pérdidas por fricción en la tubería principal de 10,64 m; en la secundaria de 1,34 m; en la lateral₁ de 0,25 m. La condición de diseño se cumple debido a que la variación de presión del lateral fue de 2,25 m menor al 20 % de la presión nominal del aspersor 5 m. El costo de la instalación del rediseño de riego en el predio es de \$ 937,44.

9. Recomendaciones

Con base a los resultados y conclusiones generadas, se plantea las siguientes recomendaciones:

- Luego de realizar las instalaciones del riego se debe realizar la evaluación del riego en función de la uniformidad, aplicación y distribución del agua en el suelo, para garantizar un mejor funcionamiento.
- De acuerdo con la evaluación realizada, es recomendable que la propuesta del rediseño sea implementada, para mejorar la eficiencia de aplicación del riego y mejorar la uniformidad del riego en la parcela, además es conveniente que se realice el seguimiento del funcionamiento adecuado del sistema.

10. Bibliografía

- Abarca, P., Chilian, R., Morales, C., & Villavicencio, A. (2020). Consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo. En *Centro Regional de Investigación Raihuén* (Instituto).
- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 0(5), 55-60.
- Aguinsaca, D. (2020). *Diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo y microaspersión en el predio "La Dolorosa" de la parroquia Chuquiribamba, cantón y provincia de Loja*. Universidad Nacional de Loja.
- Ahmad, S. (2013, diciembre). Design and Operations Manual (Pressurized Irrigation Systems) Volume I. *NESPAK y NDC, II*.
- Arce, A., Avendaño, I., & Aguilar, L. (2018). Necesidades hídricas y umbral óptimo de riego en la producción de chile cahabonero en el municipio de cahabón, A. V. *Cadena de Chile Cahabonero*.
- Assan, M., & Gorosito, S. (2018). *Riego & Drenaje FCA UNCa, Serie Didá* (1), 978-987.
- Blanco, M., Hagggar, J., Moraga, P., Madriz, J. del C., & Pavón, G. (2003). *Morfología del Café (Coffea arabica L .), en lotes comerciales. Nicaragua*.
- Bohórquez, J., Contreras, J., & Gavilán, P. (2015). *Estudio de la Uniformidad del Riego de Cultivos de Fresa en el Entorno del Parque Nacional de Doñana (Huelva)*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- Briceño, M., Alvaréz, F., & Barahona, U. (2012). Riego y Drenaje. En A. Pitty & P. Valladares (Eds.), *Riego y drenaje*.
- Burt, C. (2004). Rapid field evaluation of drip and microspray distribution uniformity. *Irrigation and Drainage Systems*, 18(4), 275-297.
- Cadena, V. (2016). *Hablemos De Riego Con Los Agricultores* (CONGOPE (ed.); Segunda.
- Caicedo, O., Balmaseda, C., & Proaño, J. (2015). Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar en banano (*Musa paradisiaca*) en la finca San José 2, provincia Los Ríos, Ecuador. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24 (1), 38-43.
- Calvache, M. (2013). Riego Andino Tecnificado. En *Universidad Central del Ecuador*.
- Camejo Barreiro, L. E., Duarte Naranjo, L., & Guerra Hernández, G. (2017). *Agronomic design in central pivot machines, performance and water and energy saving*. (2), 3-16.
- Cañar, A. (2016). *Análisis de la disponibilidad y demanda de agua, con fines de riego, en el sistema Campana- Malacatos, utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*.

- Tesis. Universidad Nacional de Loja.
- Carrazón, J. (2018). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. En *Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA)* (Vol. 9, Número 5).
- Cartografía Temática Nacional de Ecuador [TRACASA-NIPSA]. (2014). *Velocidad de infiltración*.
- Castañón, G. (2000). *Ingeniería del Riego* (THOMSON LEARNING (ed.)).
- 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.
- Chamba, D., Zubelzu, S., & Juana, L. (2019). Determining hydraulic characteristics in laterals and drip irrigation systems. *Agricultural Water Management*, 226, 105791. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105791>
- Chamba, D., Zubelzu, S., & Juana, L. (2020). Hydraulic characterization of field drip irrigation. *Ingeniería del agua*, 226(1), 31-47. <https://doi.org/10.4995/ia.2020.12205>
- Chamba, M., Morocho, L., & Vásquez, E. (2018, enero). Typification of the productive systems in the Campana-Malacatos irrigation project of the Loja canton - Loja province. *Bosques Latitud Cero*, 8 (1), 13.
- Cisneros. (2003). Apuntes de Riego y Drenaje. *Universidad Autónoma de San Luis de Potosí*, 164.
- Cisneros, E., Rey, R., Martínez, R., López, T., & González, F. (2015). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el café en la provincia de Pinar del Río. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24 (N°2).
- Cuenca, L. (2021). *Diseño de un sistema de riego por aspersión en el sector Chorrillos, parroquia Malacatos*. Tesis. Universidad Nacional de Loja.
- Demin, P. (2014). *Aporte para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego.: Vol. 1a. ed* (INTA).
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA]. (2000). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. CRN – CNIA – INTA.
- Durand, G. (2017). *Evaluación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en Riego por Aspersión con Línea Lateral Unitaria en el Distrito Huambo, Provincia Caylloma, Región Arequipa*. Tesis. Universidad Católica de Santa María Facultad.
- Espinosa, L., Cárdenas, M., & Vera, D. (1996, febrero). Diseño e Instalación de un Sistema de Riego por Aspersión para 50 Ha. de Cultivo de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*) en la Provincia del Guayas. *Escuela Superior Politécnica del Litoral*, 1, 8.

- Esquit, V., & Castro, O. (2015). Recomendaciones para la optimización del uso de agua. *CENIGICAÑA*, 1-8.
- FAO, & Hudson, N. (1997). Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. *Boletín de Suelos de la FAO-68*.
- Fernández, R., Oyonarte, N., García, J., Yruela, M., Milla, M., Ricardo, Á., & Gavilán, P. (2010). *Manual de Riego para Agricultores* (Signatura). Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Fidias, A. (1999). *El proyecto de investigación* (ORIAL (ed.); Episteme).
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos Física de Suelos. *Instituto de Geología (UNAM)*, 56.
- Flóres, N., Zution, I., Rodrigues, D., Agnellos, A., Ponciano, F., Diego, M., & Eiji, E. (2013). Efficient water application on soil surface and in the soil profile in a sprinkler irrigation system. *Agrociencia ISSN:*, 47, 107-119.
- Fuentes, Y., & García, L. (1999). *Técnicas de Riego* (S. . Mundi-Prenda (ed.)).
- García, M., García, M., Castellanos, I., Cano, Z., & Peláez, C. (2008). Variation of the Mean Infiltration Rate in Six Unperturbed Ecosystems. *Terra Latinoamericana*, 26, 21-27.
- García, M., & Puppo, L. (2015). Determination of the Reference Crop Evapotranspiration (ETo) for Designing Irrigation Equipment in Uruguay. *Agrociencia*, 19(1), 122-130.
- Geoportal del Agro Ecuatoriano. (s. f.). *Gestor de Descarga de Información*. Recuperado 4 de marzo de 2023, de <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/descarga-ortofotos>
- Geoportal del Instituto Geográfico Militar [IGM]. (s. f.). *Geoportal Ecuador – Infraestructura de Datos Espaciales*. Recuperado de <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>
- Gurovich, L. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego* (T. Saraví & J. Escoto (eds.); Vol. 59). IICA.
- Gutiérrez, M., & Noraya, G. (2016). Evaluación del sistema de riego por aspersión en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología. En *INTA - CNIAB*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Holzappel, E., Pardo, X., Paz, V., Rodrigues, A., Orrego, X., & Lopez, M. (2007). Análisis técnico-económico para selección de aspersores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(6), 557-563. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662007000600002>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. *Anuarios Meteorológicas*. Recuperado de: <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (1993). Manual del cultivo del

- Café. *Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones Agropecuaria, 1* (Manual del cultivo del café), 223.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA]. (2011). *Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con Fines Múltiples*.
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. En *Universidad Nacional de Colombia* (CIAF).
- Jiménez, J. (2014). *Diseño e Implementación de Programas Piloto para la Formación de Agricultores Regantes*.
- Kottke, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263.
- Legarda, L., Puentes, G., & Benavides, H. (1999). Importancia de los parámetros hidrofísicos del suelo y requerimientos hídricos del cultivo en el diseño de un proyecto de riego por aspersión. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 16(1 y 2), 98-109.
- López. (2006). *Manual de Edafología*.
- López, M., Carmenates, D., Mujica, A., & Paneque, P., (2019). Criterios de eficiencia para la evaluación del riego por aspersión. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(3), 1-7.
- López, R., Arteaga, R., Vázquez Peña, M. A., López Cruz, I. L., & Sánchez Cohen, I. (2010). Evapotranspiración del cultivo de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) estimada mediante el potencial métrico del suelo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(2), 157.
- Mafla, E., Cabezas, D., & Carrasco, F. (2002). El riego, la producción y el mercado. *CAMAREN, CESA*, 195.
- Maggiore D., Gardiol, J., & Irigoyen, A. (2017). *Coefficientes de cultivo de girasol basdos en la evapotranspiración de referencia Penman-Monteith. February*.
- Maldonado, I. (2001). *Riego y Drenaje* (H. Rodríguez (ed.)). Boletín de Bolsillo N°1.
- Maroufpoor, E., Faryabi, A., Ghamarnia, H., & Moshrefi, G. (2010). Evaluation of uniformity coefficients for sprinkler irrigation systems under different field conditions in Kurdistan Province (northwest of Iran). *Soil and Water Research*, 5(4), 139-145.
- Martínez, A., Zapata, N., Faci, J. M., & Playan, E. (2005). *Variabilidad de las pérdidas por evaporación y arrastre en riego por aspersión de maíz en el valle medio del Ebro. 1*, 1-8.
- Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca [MAGAP]. (2014). *Diagnóstico de Riego y Drenaje*.
- Montero, J. (2000). *Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión*. Univerdad de Castilla - La Mancha.
- <https://books.google.com.ec/books?id=cSSINOIAEdkC&pg=PA64&dq=coeficiente+de+>

- uniformidad&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjJ9Kmbmdv7AhWVSzABHQ2-
BEYQ6AF6BAGBEAI#v=onepage&q=coeficiente de uniformidad&f=false
- Morocho, L. (2017). *Caracterización de los sistemas productivos en el sistema de riego Campana-Malacatos*. Tesis Universidad Nacional de Loja.
- Naroua, I., Rodríguez, L., Sánchez, R., & Rodríguez, J. (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. *Universidad Politécnica de Madrid*, 1-11.
- Nuñez, J. (2017). *Sistema de Riego por Aspersión en el sector Cascamache, Distrito Huancabamba, provincia Huancabamba, región Piura*. [Universidad Nacional Agraria La Molina].
https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/187/3/2017_Puicon_Evaluacion-resistencia-natural.pdf
- Ojeda, O., Merino, J., Livisaca, F., & Iñiguez, D. (2019). Curvas de absorción de nitrógeno en el cultivo de café en la Provincia de Loja. *Sistemas de Producción Agropecuaria para la Soberanía Alimentaria*.
- Ordoñez, G. (2018). *Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de fresa (Fragaria Vesca L) en el sector el Porvenir*. Tesis. Universidad Nacional de Loja.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2006). Evapotranspiración. *Serie Didáctica, Facultad de Agronomía y Zootécnica, Universidad Nacional de Tucumán*, 45.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2009). Guía para la descripción de suelos. *Proyecto FAO- SWALIM, Nairobi, Kenya- Universidad Mayor de San Simón, Bolivia*, 3(4), 100.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (s. f.). *Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado*. 27-37. <https://www.fao.org/3/aj470s/aj470s02.pdf>
- Ortiz, R. S., & Chile, M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra*, 7(1), 070-079.
- PDOT Malacatos. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural de Malacatos 2019 - 2023*. 5-138. <https://malacatos.gob.ec/pdot/>
- Pedro, L., & Fachelli, S. (2015). Metodología de la Investigación Social Cuantitativa. En *Creative Commons* (UAB, Número 17). <https://doi.org/10.1344/reyd2018.17.13>
- Peralta, J. M., & Simpfendörfer, C. (2001). Riego por Aspersión. *Fao*, 1, 51.
- Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., Mauro, F., Montes, A., & Velarde, M. J. (2011).

- Edafología. *Edafologia 1, 1*, 170.
- Prieto, D., Angella, G., & Salgado, R. (2014). Eficiencia de aplicación en riego gravitacional. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*.
- Quiroga, A. R., Fernandez, R., & Alvarez, C. (2018). *Análisis y evaluación de propiedades físico hídrica de los suelos* (INTA (ed.); 1a ed).
<https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/3834>
- Ramírez, R. (1997). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelos. En C. Naranjo (Ed.), *Convenio FENALCE-SENA-SAC*.
- Ramírez, V., Jaramillo, Á., & Arcela, J. (2010). Rangos adecuados de lluvia para el cultivo de café en Colombia. *Cenicafé*, 395, 1-8.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. *Transactions of the Faraday Society*, 64, 3358-3360.
- Ruiz, N. (2008). La salinidad del agua de riego y del suelo. *Sistema de Asistencia al Regante (SAR)*, 1, 1-6.
- Sánchez, J. (2000). Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la fórmula de Hargreaves. *Departamento de Geología. Universidad de Salamanca.*, 3-5.
- Santacruz, G., & Santacruz, E. (2020). Evaluación del desempeño del riego por aspersión en lotes con cultivo de banana en Chiapas, México. *Siembra*, 7(2), 001-013.
- Santos, L., Valero, J., Picornell, R., & Tarjuelo, J. (2010). *El riego y sus tecnologías* (Primera Edición, Vol. 1). Europa-América.
- Sotelo, G. (1994). *Hidráulica General* (GRUPO NORIEGA (ed.); LIMUSA, S.
- Stambouli, T., Zapata, N., Martinez, A., & Faci, J. (2011). Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre y de los cambios microclimáticos durante el riego por aspersión de alfalfa. *Congreso Nacional de Riegos: «Hacia un regadío eficiente y rentable»*, 29°. Digital CSIC
- Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2019). Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019 - 2027. *Secretaría del Agua*, 160.
- Swistock, B. (2021, agosto 17). Interpreting Irrigation Water Tests. *Pennsylvania State University*. <https://extension.psu.edu/interpreting-irrigation-water-tests>
- Tarjuelo, J. (2005). El riego por aspersión. *Centro Regional de Estudios del Agua-CREA*, 581.
- Tarjuelo, J. M. (1991). *El riego por aspersión: Diseño y Funcionamiento* (Univ de Castilla, Vol. 3).
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente [TULSMA]. (2015). Revisión y Actualización de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes:

- Recurso Agua. *Registro Oficial No. 387, 97, 1-40.*
- Tomas, A. (1999). *Interpretación análisis de agua según su calidad para riego* (Regadios C).
- Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., & Guaya, P. (1998). *Condiciones Físicas de los suelos de la Región Sur del Ecuador* (N. Jaramillo (ed.). Universidad Nacional de Loja.
- Valverde, J. (2007). *Riego y Drenaje* (Segunda Edición). EUNED.
- Villazón Gómez, J. A., Noris Noris, P., & Gutiérrez, G. M. (2021). Determination of effective rainfall in agricultural areas of the province of Holguin. *Idesia*, 39(2), 85-90.
- Zapatta, A., & Gasselin, P. (2005). El riego en Ecuador : problemática, debate y políticas. *Eje temático «Riego» bajo la coordinación de CESA*, 68 p.
- Zotarelli, L., Dukes, M. D., & Morgan, K. T. (2013). Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. *UF IFAS*, 2, 1-4.
- Zúñiga, É. (2004). *Diseño y evaluación del riego a presión* (1.^a ed.). Universidad de Costa Rica.

11. Anexos

Anexo 1. Descripción del perfil de la unidad de suelo del sector “El Porvenir”

Fecha: 02/06/2022 **Autores:** Cinthia Abad, Fernanda Livisaca **Sitio:** El Porvenir

Altitud (msnm): 1680 m.s.n.m **Coordenadas:** 698236 E y 9538822 N

Paisaje: pie de montaña **Tipo de relieve:** llanura aluvio - coluvial

Forma del terreno: pendiente baja **Pendiente:** 9% **Uso actual o cobertura vegetal:**

frutales: (lima, mandarina, naranja), achira, limón, mango, guayaba

Condiciones de humedad: húmedo **Pedregosidad superficial:** 5% **Tamaño:** 2,5 – 10 cm

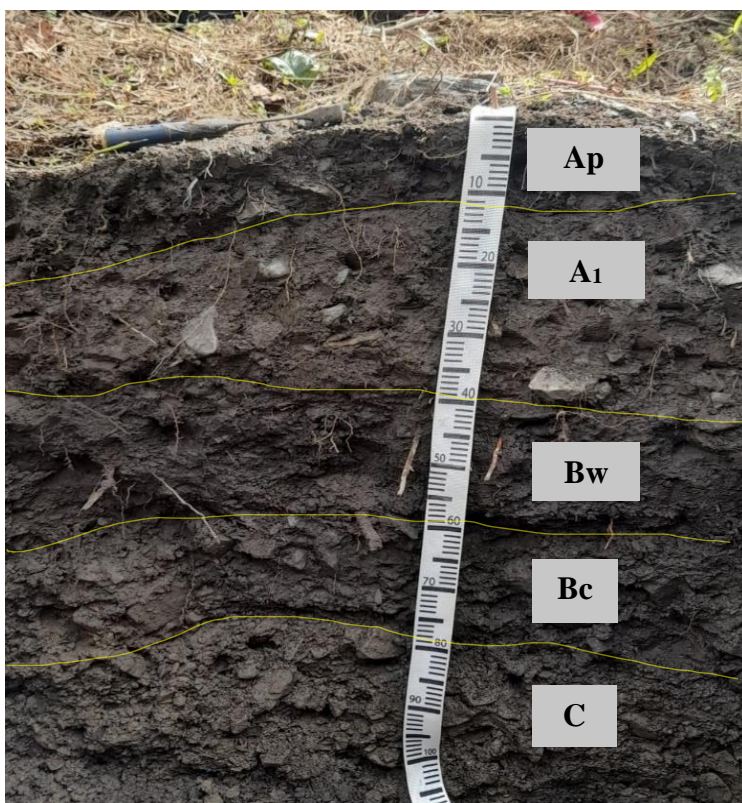
(grava, pedregón) **Afloramientos rocosos:** No **Material parental:** aluvial

Presencia de Sales o Alcalis: libre **Drenaje:** bueno

Erosión: moderado (erosión hídrica ligera)

Figura 7.

Perfil del suelo del predio.



Elaborado: La autora

- **Descripción individual de los horizontes del Perfil del suelo**

Tabla 42.

Descripción de los horizontes del perfil del suelo del predio de “El Porvenir”

Horizonte y espesor (cm)	Color húmedo	Textura	Estructura	Consistencia	Poros	Raíces	Límite
Ap 00 - 10	Gris Pardo	Fo	Bloques subangulares, moderados, medios y finos	Ligeramente adherente y plástico	Frecuentes medios y finos	Pocas raíces finas y muy finas	Neto y plano.
A ₁ 10 - 40	Marrón Grisáceo	Fo	Bloques subangulares, fuertes, gruesos y medios	Ligeramente adherente, ligeramente plástico	Muchos poros gruesos y finos	Comunes raíces finas y pocas raíces medianas y muy finas	Neto y plano.
Bw 40 - 60	Negro parduzco	Fo	Bloques angulares y subangulares, moderados, medios y finos	Ligeramente adherente, ligeramente plástico adherente	Medios y finos	Comunes raíces gruesas, pocas finas, y muy pocas muy finas	Brusco y plano
Bc 60 - 80	Negro parduzco	FoAcLo	Bloques subangulares, débiles, medios y finos	Adherente, plástico, friable	Finos, y pocos medianos	Muy pocas muy finas	Brusco y plano
C 80 - 110	Marrón	Ao	No presenta	—	Porosidad gruesa	—	—

Elaborado: La autora

Anexo 2. Determinación de la textura del suelo

Primer horizonte

Arena

$$A_o = 100 - (1^{era} L.C \times 2)$$

$$A_o = 100 - (28,46 \times 2)$$

$$A_o = 43,08 \%$$

Arcilla

$$A_c = 2^{da} L.C \times 2$$

$$A_c = 6,64 \times 2$$

$$A_c = 13,28 \%$$

Limo

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

$$L_o = 100 - (13,28 + 43,08)$$

$$L_o = 43,68 \%$$

Segundo horizonte

Arena

$$A_o = 100 - (1^{era} L.C \times 2)$$

$$A_o = 100 - (31,46 \times 2)$$

$$A_o = 37,08 \%$$

Arcilla

$$A_c = 2^{da} L.C \times 2$$

$$A_c = 11,64 \times 2$$

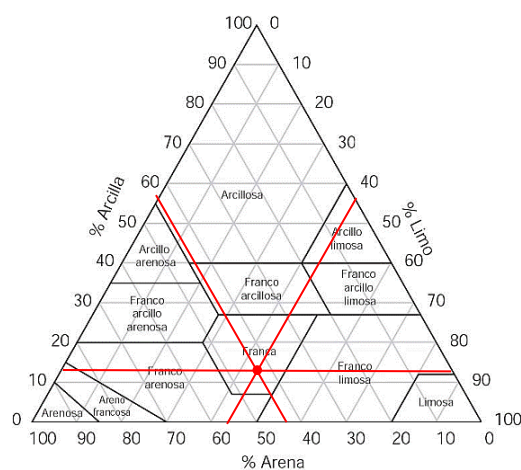
$$A_c = 23,28 \%$$

Limo

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

$$L_o = 100 - (23,28 + 37,08)$$

$$L_o = 39,64 \%$$



Anexo 3. Resultados de las constantes hidrofísicas del suelo de El Porvenir

SC-1

	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACIÓN SANTA CATALINA MANEJO DE SUELOS Y AGUAS SUELOS Y AGUA PANAMERICANA SUR KM. 1, SECTOR CUTUGLAGUA, CANTON MEJIA, PICHINCHA	
	PROFORMA N° DSA-22-0356	

CLIENTE / PROCEDENCIA

FECHA / HORA DE ENVÍO: 26/7/2022 11.20 AM
CLIENTE: CINTHIA ESTEFANIA ABAD LUDEÑA **RUC:** 1105996969
DIRECCIÓN: MENDOZA Y ASUNCIÓN BARRIO CLODOVEO JARAMILLO
CIUDAD / PROVINCIA: LOJA / LOJA
PERSONA CONTACTO: CINTHIA ESTEFANIA ABAD LUDEÑA
TELÉFONO: 0939829950 **CORREO:** cinthia.abad@unl.edu.ec

Cantidad	Parámetro/Análisis	Código	Plazo de entrega	Precio Unitario	Precio Total	Método	Método Referencial
2	FISICO DE SUELOS-PUNTO MARCHITEZ PERMANENTE (P.M.P.)		12 día(s) laborables	15.00	30.00		
2	FISICO DE SUELOS CAPACIDAD DE CAMPO (CC)		12 día(s) laborables	15.00	30.00		
SON: SESENTA Y SIETE CON 200/100				SUBTOTAL:	60.00		
				IVA (12.00%):	7.20		
				TOTAL:	67.20		

Estimado Cliente, Usted es muy importante para nosotros, con el fin de ofrecerle un mejor servicio por favor tenga en cuenta lo siguiente:

- Las fechas de vigencia de las proformas solicitadas, en caso de requerir una nueva solicitud.
- Su pago puede realizarlo en: Efectivo, Cheque Certificado, Depósito o Transferencia Bancaria. Cuando su pago lo realice con Depósito o Transferencia Bancaria debe ser el valor exacto, acorde a la proforma, enviar por cualquier medio copia del comprobante depósito o transferencia bancaria y proforma que cancela a fin de darle continuidad a su trámite y emitir la factura correspondiente.
- Por favor tenga en cuenta que somos una Institución Pública sin fines de lucro por lo que estamos exentos de retención en la Fuente de IVA e Impuesto Renta Depósito Instituciones Públicas:
- Beneficiario INIAP EESC; Cuenta de Ingresos (corriente), Banco Pichincha No. 2100007128, sublínea 30200, en caso de depósito.
- Transferencias Instituciones Públicas: Beneficiario INIAP EESC; Cuenta de Ingresos (corriente) Banco Pichincha No. 2100007128, RUC 1768080630001.
- Los depósitos no identificados al término de mes en cumplimiento a las normas vigentes serán registrados como otros ingresos en Ministerio de Finanzas por lo que no nos responsabilizamos de su devolución y tampoco por los servicios.
- La firma de este documento constituye un contrato de servicios una vez aceptadas las condiciones de esta proforma

NOTA DE DESCARGO: La información entregada por el cliente y generada durante las actividades del laboratorio es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido esta proforma por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información

VALIDEZ DE ESTA PROFORMA: 15 DÍAS

Cumplimentado por:	Aceptado <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
---------------------------	---

<p>Firma: <small>Firmado electrónicamente por:</small> IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA</p>	<p>Firma: _____</p>
---	----------------------------

<p>Fecha: <u>26/07/2022</u></p>	<p>Fecha: _____</p>
--	----------------------------

Ingreso N°:

DPTO. MANEJO DE SUELOS Y AGUAS EESC.
 Panamericana Sur Km 1
 Quito Ecuador
 Tel. 02 3007284
 laboratorio.dsa@iniap.gob.ec

Anexo 4. Determinación de la evaluación de las condiciones físicas del suelo

Primer horizonte

Agua aprovechable

$$AA = CC - PMP$$

$$Ao = 26,1 - 8,7$$

$$Ao = 17,4 \%$$

Capacidad de aireación

$$Ac = Sat. - CC$$

$$Ac = 35 \times 26,1$$

$$Ac = 8,9 \%$$

Volumen físicamente inerte

$$Lo$$

$$= 100 - (Sat. - PMP)$$

$$Lo = 100 - (35 + 8,7)$$

$$Lo = 73,7 \%$$

Segundo horizonte

Agua aprovechable

$$AA = CC - PMP$$

$$Ao = 28 - 10$$

$$Ao = 18 \%$$

Capacidad de aireación

$$Ac = Sat. - CC$$

$$Ac = 32,5 \times 28$$

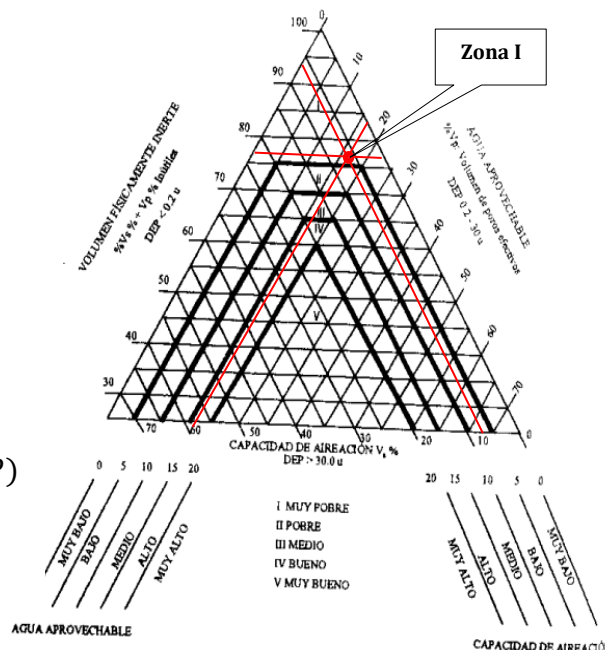
$$Ac = 4,5 \%$$

Volumen físicamente inerte

$$Lo = 100 - (Sat. - PMP)$$

$$Lo = 100 - (32,5 + 10)$$

$$Lo = 77,5 \%$$



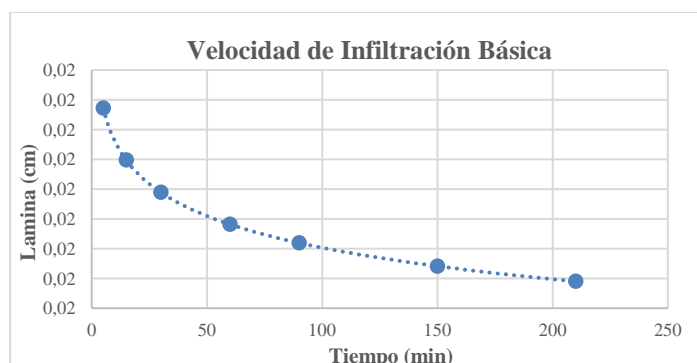
Anexo 5. Datos de las pruebas de infiltración

Tabla 43.

Datos de la primera prueba de infiltración.

Número	Tiempo (min)	T. Acum (min)	Lami. Infiltr (cm)	L. Inf. Acum (cm)	V. Inf. Insta (cm/min)
1	5	5	0,1	0,10	0,02
2	10	15	0,2	0,30	0,02
3	15	30	0,4	0,70	0,02
4	30	60	0,6	1,30	0,02
5	30	90	0,7	2,00	0,02
6	60	150	0,9	2,90	0,02
7	60	210	0,9	3,80	0,02
1	5	5	0,1	0,10	0,02
2	10	15	0,2	0,30	0,02
3	15	30	0,4	0,70	0,02
4	30	60	0,6	1,30	0,02
5	30	90	0,7	2,00	0,02
6	60	150	0,9	2,90	0,02
7	60	210	0,9	3,80	0,02

Elaborado: La autora



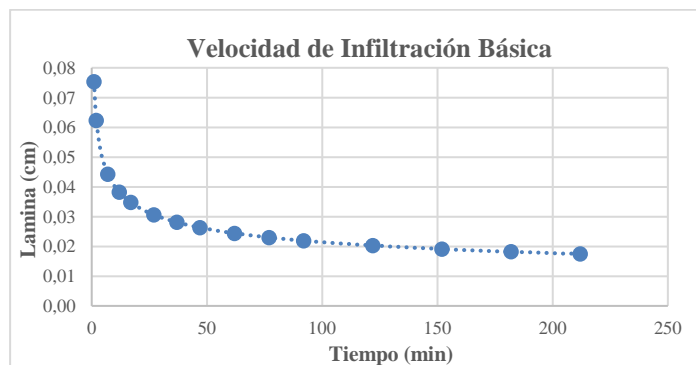
Parámetro	Valor
A	0,0218
B	0,9847
a	0,0215
b	-0,0153
t _{bas}	9,18
t _{bas} (h)	0,153
I _{bas} cm/min	0,021
I _{bas} cm/h	1,24
I _{bas} mm/h	12,45

Tabla 44.

Datos de la segunda prueba de infiltración.

Número	Tiempo (min)	T. Acum (min)	Lamina inf. (cm)	Inf. Acum (cm)	V. inf. insta (cm/min)
1	1	1	0,1	0,1	0,08
2	1	2	0,1	0,2	0,06
3	5	7	0,2	0,4	0,04
4	5	12	0,2	0,6	0,04
5	5	17	0,2	0,8	0,03
6	10	27	0,4	1,2	0,03
7	10	37	0,2	1,4	0,03
8	10	47	0,2	1,6	0,03
9	15	62	0,4	2,0	0,02
10	15	77	0,4	2,4	0,02
11	15	92	0,3	2,7	0,02
12	30	122	0,7	3,4	0,02
13	30	152	0,7	4,1	0,02
14	30	182	0,7	4,8	0,02
15	30	212	0,7	5,5	0,02

Elaborado: La autora



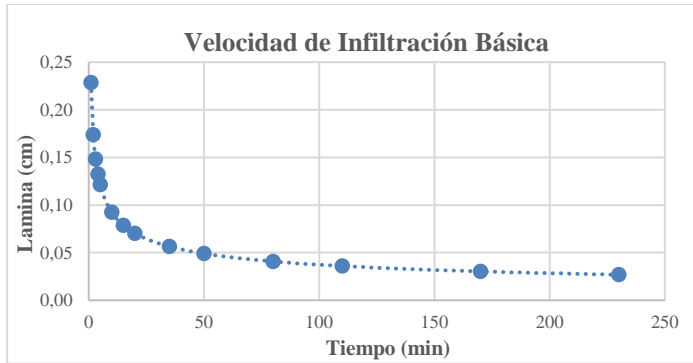
Parámetro	Valor
A	0,1036
B	0,727
a	0,075
b	-0,273
t_{bas}	2,73
t_{bas} (h)	163,8
I_{bas} cm/min	0,019
I_{bas} cm/h	1,12
I_{bas} mm/h	11,23

Tabla 45.

Datos de la tercera prueba de infiltración.

Número	Tiempo (min)	T. Acum (min)	Lami. Infiltr (cm)	L. Inf. Acum (cm)	V. Inf. Insta (cm/min)
1	1	1	0,0	0,0	0,23
2	1	2	0,4	0,4	0,17
3	1	3	0,2	0,6	0,15
4	1	4	0,2	0,8	0,13
5	1	5	0,3	1,1	0,12
6	5	10	0,9	2,0	0,09
7	5	15	0,5	2,5	0,08
8	5	20	0,2	2,7	0,07
9	15	35	1,9	4,6	0,06
10	15	50	0,1	4,7	0,05
11	30	80	0,6	5,2	0,04
12	30	110	0,4	5,6	0,04
13	60	170	1,3	6,9	0,03
14	60	230	1,3	8,2	0,03

Elaborado: La autora



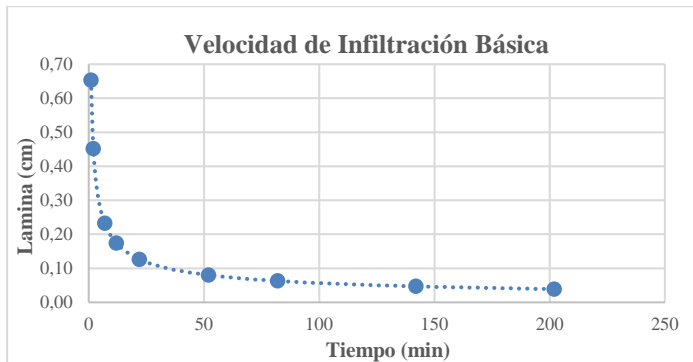
Parámetro	Valor
A	0,3766
B	0,6066
a	0,2284
b	-0,3934
t_{bas}	236,04
t_{bas} (h)	3,934
I_{bas} cm/min	0,0267
I_{bas} cm/h	1,587
I_{bas} mm/h	15,97

Tabla 46.

Datos de la cuarta prueba de infiltración.



Número	Tiempo (min)	T. Acum (min)	Lami. Infiltr (cm)	L. Inf. Acum (cm)	V. Inf. Insta (cm/min)
1	1	1	1,1	1,1	0,65
2	1	2	1,2	2,3	0,45
3	5	7	1,3	3,6	0,23
4	5	12	1,3	4,9	0,17
5	10	22	1,5	6,4	0,13
6	30	52	2,0	8,4	0,08
7	30	82	2,3	10,7	0,06
8	60	142	2,8	13,5	0,05
9	60	202	3,1	16,6	0,04

Elaborado: La autora



Parámetro	Valor
A	1,3926
B	0,4689
a	0,6530
b	-0,5311
t_{bas}	318,66
t_{bas} (h)	5,311
I_{bas} cm/min	0,031
I_{bas} cm/h	1,83
I_{bas} mm/h	18,3

Anexo 6. Resultados de la calidad de agua del predio

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO MATRIZ PARA ENTREGA DE RESULTADOS					
Código de ingreso	LAQ-A005	Fecha de ingreso	23.07.2022	Tipo de muestra	Agua	Número Total de muestras	1
Lugar de procedencia de la muestra	EL Porvenir - Malacatos			Tipo de muestreo	Superficial		
Nombre del usuario	Cinthia Abad Ludeña			CI.	1105996969		
Programa/proyecto	Evaluación de un sistema de riego por aspersión en un predio del sector El Porvenir, parroquia Malacatos.						
Técnico Responsable del Análisis	Ing. Tania Yasmin Sarango Acaro			Fecha de entrega	25.07.2022		

Nro.	ANÁLISIS	UNIDAD	RESULTADOS
1	pH	-	8,00
2	CE	ms/cm	0,05
3	B	mg/l	0,23
4	Ca	mg/l	7,0
5	Mg	mg/l	5,19
6	Na	mg/l	11,0
7	K	mg/l	8,1
8	Cloruros	mg/l	< 5,0
9	Sulfatos	mg/l	< 5,0
10	Nitratos	mg/l	< 2,2
11	Nitritos	mg/l	0,04
12	RAS	-	1,71
13	Carbonatos	mg/l	0,0
14	Solidos en Suspensión	mg/l	282
15	Coliformes Totales	UFC	24



TANIA YASMIN
SARANGO ACARO

Ing. Tania Yasmin Sarango Acaro
Técnica de Laboratorio de Análisis Químico UNL



MARIA JOSE
VALAREZO

Ing. Maria José Valarezo Ulloa, PhD
Responsable Laboratorio de Análisis Químico UNL

Anexo 7. Listado de los aspersores encontrados in situ en el sistema

Tabla 47.

Aspersores encontrados in situ en el sistema de riego

Número	Marca/Modelo	Color Boquilla	Altura (m)
Lateral 1			
1	NDJ (5022)	Rojo y verde	1,80
2	NETAFIM (9575)	Negro y amarillo	1,71
3	UNIRAIN (F46) 3/4 Hembra	Turquesa y naranja	1,37
4	NDJ (5022)	Dañado sin boquillas	4.00
5	NDJ (5035)	Café	1,50
6	SENNINGER (3123)	Blanca y negro	1,50
7	UNIRAIN (P45L) Sectorial 3/4" Hembra	Turquesa y naranja	1,55
8	SENNINGER (3123)	Blanca y negro	1,56
Lateral 2			
9	NETAFIM 9575	Amarillo/Amarillo	1,30
10	NDJ 5035	Negro y plomo	1,35
11	NETAFIM 9575	Amarillo y azul	3,50
12	NDJ 5035	Negro y naranja	1,77

Lateral 3			
13	SENNINGER (Mariposa)	Negro	1,67
14	NAN 5035	Negro y plomo	1,47
15	UNIRAIN F46	Turquesa y naranja	1,48
16	SENNINGER 4123	Blanco y negro	1,40
17	SENNINGER 3123	Blanco y negro	1,26
18	NAAN (ISRAEL) 5022	Dañado sin boquillas	1,40
Lateral 4			
19	UNIRAIN P45L	Turquesa y naranja	1,44
20	NDJ	Verde (una boquilla)	1,40
21	UNIRAIN 1681 P45L	Turquesa y naranja	0,54
22	UNIRAIN 1681 P45L	Turquesa y naranja	1,44
23	UNIRAIN 1681 P45L	Turquesa y naranja	1,55
24	UNIRAIN F46 (310)	Turquesa y naranja	1,67

Elaborado: La autora

Anexo 8. Cálculo del coeficiente de uniformidad

Tabla 48.

Datos del ensayo del coeficiente de uniformidad

Número	Volumen (cm3)	Z1-V
1	52	2,1
2	60	5,9
3	56	1,9
4	70	15,9
5	32	22,1
6	45	9,1
7	58	3,9
8	66	11,9
9	52	2,1
10	57	2,9
11	42	12,1
12	50	4,1
13	69	14,9
14	56	1,9
15	56	1,9
16	50	4,1
17	70	15,9
18	32	22,1
19	51	3,1
20	58	3,9
TOTAL	1082	161,8
PROMEDIO	54,1	
VOL. 25 %	37,75	
UD (zona)	69,78	
CU (Christiansen)	85,04	

Elaborado: La autora

Anexo 9. Características técnicas de los aspersores utilizados en el ensayo

Unirain F46L- F46

Aspersor de Impacto Círculo Completo Caudal Bajo - Medio Plástico



Especificaciones técnicas

- Aspersor de impacto círculo completo.
- Rosca base 3/4" macho o hembra (F46).
- Doble boquilla, principal y secundaria.
- Ángulo trayectoria boquilla 23°.
- Rango de presión: 1,38 - 5,52 Bar.
- Fabricado en resina acetálica con tratamiento protector a los rayos ultravioletas.
- Eje brazo y muelles en acero inoxidable.
- Eje brazo con el diámetro del extremo superior, expandido para una mejor fijación en el cuerpo aspersor.
- Boquillas en resina acetálica antiabrasiva, codificada por colores y medidas grabadas en milímetros y pulgadas para una inequívoca identificación.
- Retén con antigiro entre cuerpo aspersor y muelle de compresión.
- Modelo F46L (bajo caudal)



F46L F46	PRESIÓN (MCA)	BOQUILLAS 7/16" + 3/32"		BOQUILLAS 1" + 3/32"		BOQUILLAS 1/4" + 3/32"		BOQUILLAS 5/32" + 3/32"		BOQUILLAS 11/64" + 3/32"		BOQUILLAS 3/16" + 3/32"		BOQUILLAS 3/16" + 1/8"		BOQUILLAS 13/64" + 1/8"		BOQUILLAS 7/32" + 1/8"	
		L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)
DOS BOQUILLAS	14.1	815	11.3	723	11.6	849	11.9	979	12.4	1126	12.8	1285	13.2	1511	13.2	1697	13.7	1892	14.0
	17.6	688	11.6	806	11.9	949	12.3	1097	13.0	1261	13.4	1433	13.9	1681	13.9	1885	14.3	2101	14.8
	21.1	754	11.7	886	12.3	1040	13.0	1199	13.6	1379	14.0	1574	14.5	1851	14.5	2078	14.9	2317	15.4
	24.6	818	11.9	961	12.6	1124	13.3	1297	14.0	1492	14.5	1706	14.9	2005	14.9	2255	15.4	2521	15.8
	28.1	874	12.0	1029	12.8	1201	13.6	1388	14.3	1597	14.8	1824	15.2	2149	15.2	2419	15.7	2703	16.2
	31.6	927	12.2	1092	13.0	1274	13.7	1472	14.5	1694	15.1	1937	15.5	2283	15.5	2566	16.0	2873	16.5
	35.2	977	12.3	1151	13.1	1342	13.9	1549	14.6	1787	15.2	2044	15.8	2407	15.8	2703	16.3	3032	16.8
	38.7	1024	12.5	1208	13.3	1408	14.0	1624	14.8	1874	15.4	2146	16.0	2521	16.0	2839	16.6	3180	17.1
	42.2	1070	12.6	1263	13.4	1472	14.2	1697	14.9	1953	15.5	2239	16.2	2635	16.2	2953	16.8	3293	17.2
	45.7	1113	12.8	1315	13.6	1533	14.3	1767	15.1	2028	15.7	2333	16.3	2748	16.3	3066	16.9	3407	17.4
	49.2	1156	13.0	1365	13.7	1590	14.5	1835	15.2	2101	15.8	2421	16.5	2839	16.5	3180	17.1	3509	17.5
	52.7	1195	13.1	1413	13.9	1647	14.6	1901	15.4	2171	16.0	2503	16.6	2930	16.6	3271	17.2	3611	17.7
	56.2	1233	13.1	1458	14.0	1701	14.8	1965	15.5	2242	16.2	2580	16.8	3009	16.8	3361	17.4	3702	17.8

Unirain P45 - P45L PROTEGIDO

Aspersor de Impacto Sectorial Caudal Bajo - Medio Plástico



Especificaciones técnicas

- Aspersor de impacto de doble uso: Sectorial entre 25° y 325° en incrementos de 10° o círculo completo.
- Rosca 3/4" macho o hembra.
- Dos boquillas, principal y secundaria.
- Ángulo trayectoria boquilla: 23°.
- Rango de presión: 1,38 - 5,52 Bar.
- Rango de boquillas: 1/8" - 1/4".
- Fabricado en resina acetálica con tratamiento protector a los rayos ultravioletas.
- Tapón fabricado en HDPE protector de cuerpo y muelle.
- Retén protector de cojete fabricado en HDPE con antigiro entre cuerpo aspersor y muelle de compresión.
- Eje brazo y muelles en acero inoxidable.
- Eje brazo con el diámetro del extremo superior expandido para una mejor fijación en el cuerpo aspersor.
- Boquillas en resina acetálica antiabrasiva, codificada por colores y medidas grabadas en milímetros y pulgadas para una inequívoca identificación.
- Mecanismo de inversión protegido.
- Manguito hembra en PA reforzada con fibra de vidrio.



P45 P45L	PRESIÓN (MCA)	BOQUILLAS 1/8" + 3/32"		BOQUILLAS 9/64" + 3/32"		BOQUILLAS 5/32" + 3/32"		BOQUILLAS 11/64" + 3/32"		BOQUILLAS 3/16" + 3/32"		BOQUILLAS 3/16" + 1/8"		BOQUILLAS 13/64" + 1/8"		BOQUILLAS 7/32" + 1/8"	
		L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)	L/H	R(m)
DOS BOQUILLAS	14.1	723	11.6	849	11.9	979	12.4	1126	12.8	1285	13.2	1511	13.2	1707	13.7	1892	14.0
	17.6	806	11.9	949	12.3	1097	13.0	1261	13.4	1433	13.9	1681	13.9	1885	14.3	2101	14.8
	21.1	886	12.3	1040	13.0	1199	13.6	1379	14.0	1574	14.5	1851	14.5	2078	14.9	2317	15.4
	24.6	961	12.6	1124	13.3	1297	14.0	1492	14.5	1706	14.9	2005	14.9	2255	15.4	2521	15.8
	28.1	1029	12.8	1201	13.6	1388	14.3	1597	14.8	1824	15.2	2149	15.2	2419	15.7	2703	16.2
	31.6	1092	13.0	1274	13.7	1472	14.5	1694	15.1	1937	15.5	2283	15.5	2566	16.0	2873	16.5
	35.2	1151	13.1	1342	13.9	1549	14.6	1787	15.2	2044	15.8	2407	15.8	2703	16.3	3032	16.8
	38.7	1208	13.3	1408	14.0	1624	14.8	1874	15.4	2146	16.0	2521	16.0	2839	16.6	3180	17.1
	42.2	1263	13.4	1472	14.2	1697	14.9	1953	15.5	2239	16.2	2635	16.2	2953	16.8	3293	17.2
	45.7	1315	13.6	1533	14.3	1767	15.1	2028	15.7	2333	16.3	2748	16.3	3066	16.9	3407	17.4
	49.2	1365	13.7	1590	14.5	1835	15.2	2101	15.8	2421	16.5	2839	16.5	3180	17.1	3509	17.5
	52.7	1413	13.9	1647	14.6	1901	15.4	2171	16.0	2503	16.6	2930	16.6	3271	17.2	3611	17.7
	56.2	1458	14.0	1701	14.8	1965	15.5	2242	16.2	2580	16.8	3009	16.8	3361	17.4	3702	17.8

Anexo 10. Serie de datos de estaciones meteorológicas según el INAMI.

Tabla 49.

Serie de datos obtenidos de las estaciones meteorológicas.

Datos de Precipitación Media (°C) (1990 - 2013)												
Estación	Ene	Feb	Mar	Arb	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Quinara	100,52	153,09	180,00	111,99	52,82	20,21	5,65	4,27	23,51	89,57	93,30	116,04
Yangana	132,01	183,52	180,43	115,20	70,36	68,16	51,08	35,80	38,54	93,09	94,86	142,44
Malacatos	68,28	127,44	119,71	103,91	35,41	9,13	8,60	5,68	16,91	88,34	60,56	83,80
Cajanuma	119,87	177,47	163,37	123,16	76,57	64,00	44,36	37,15	40,30	82,70	86,81	120,35

Elaborado: La autora

Datos de Temperatura Media (°C) (1990 - 2013)												
Estación	Ene	Feb	Mar	Arb	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Quinara	19,82	19,57	19,68	19,80	19,97	19,78	19,78	20,22	20,55	20,50	20,05	20,01
Yangana	20,25	20,04	19,33	20,27	20,18	19,91	19,64	19,87	20,35	20,52	20,61	20,34
Malacatos	18,50	18,06	18,14	18,22	18,38	18,32	18,49	18,38	18,70	18,64	18,76	18,71

Datos de Temperatura Máxima (°C) (1990 - 2013)												
Estación	Ene	Feb	Mar	Arb	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Quinara	25,00	24,55	24,90	25,09	24,95	24,26	24,72	24,89	25,85	26,60	25,83	25,34
Yangana	25,45	24,97	25,14	25,25	25,02	24,45	23,96	24,31	25,06	26,18	26,24	25,82
Malacatos	27,43	26,90	26,40	27,80	28,10	28,00	27,40	28,20	29,30	28,40	29,10	29,90

Elaborado: La autora

Datos de Temperatura Mínima (°C) (1990 - 2013)												
Estación	Ene	Feb	Mar	Arb	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Quinara	14,10	14,85	14,98	15,09	14,39	14,07	13,90	14,80	14,95	14,19	14,02	14,50
Yangana	15,02	15,16	15,17	15,10	15,21	15,19	15,00	15,14	15,19	14,83	14,68	14,70
Malacatos	7,13	6,85	6,66	6,82	6,98	6,84	6,88	6,68	6,90	6,78	6,75	7,14

Elaborado: La autora

Anexo 11. Curva del coeficiente de cultivo (kc) para café

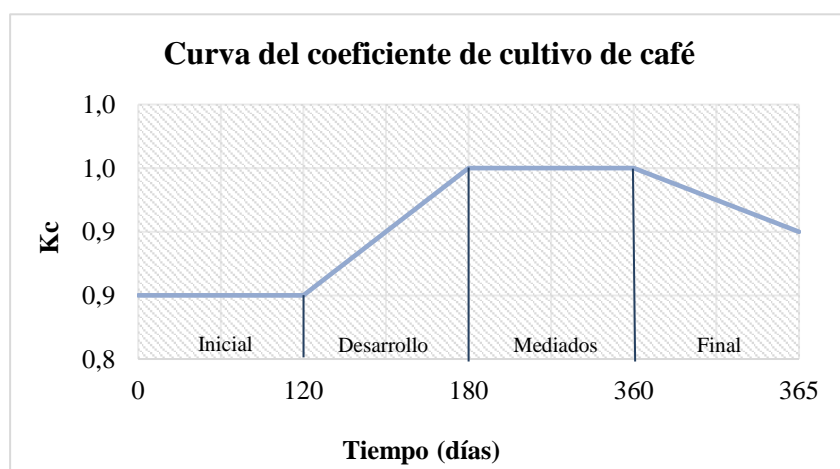


Tabla 50.
Valores de (*kc*) y etapas de desarrollo del cultivo de café

Etapas (días)	Duración días	Kc	Días acumulados	Kc acumulado	
Etapas inicial	0 - 120	120	0,85	0	0,85
Etapas de desarrollo	120 - 180	60	0,95	120	0,85
Etapas de mediados	180 - 360	180	0,95	180	0,95
Etapas final	360 - 365	5	0,90	360	0,95
Tiempo de desarrollo	365	365	3,65	365	0,90

Anexo 12. Respaldo fotográfico



Figura 8. Aplicación de encuestas



Figura 9. Realización de calicata y descripción de perfiles



Figura 10. Muestras en saturación



Figura 11. Determinación textura del suelo



Figura 12. Pruebas de infiltración.



Figura 13. Componentes de instalación del sistema



Figura 14. Realización de la prueba de uniformidad



Figura 15. Determinación de la presión y aforo de los aspersores

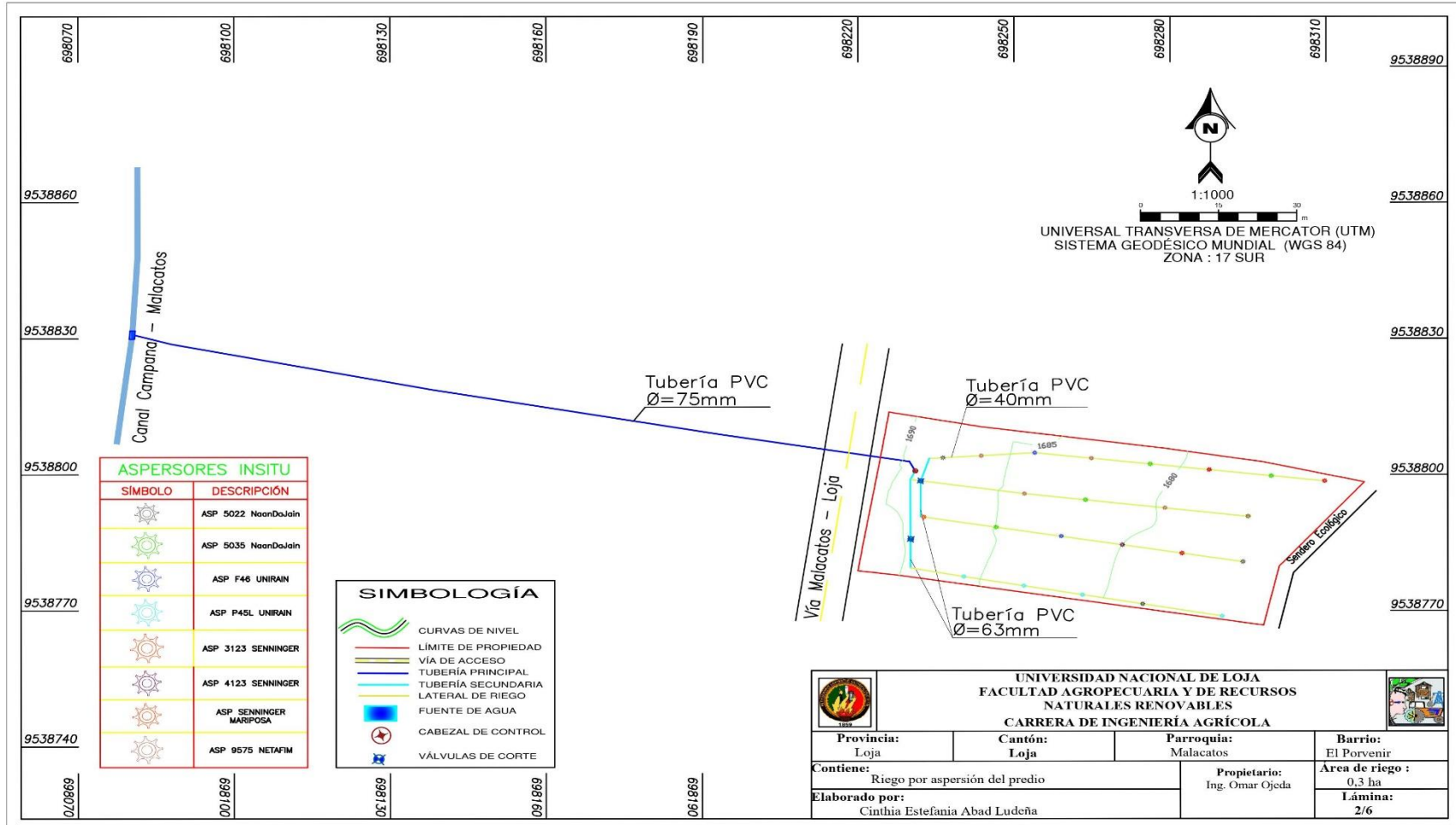


Figura 16. Levantamiento topográfico

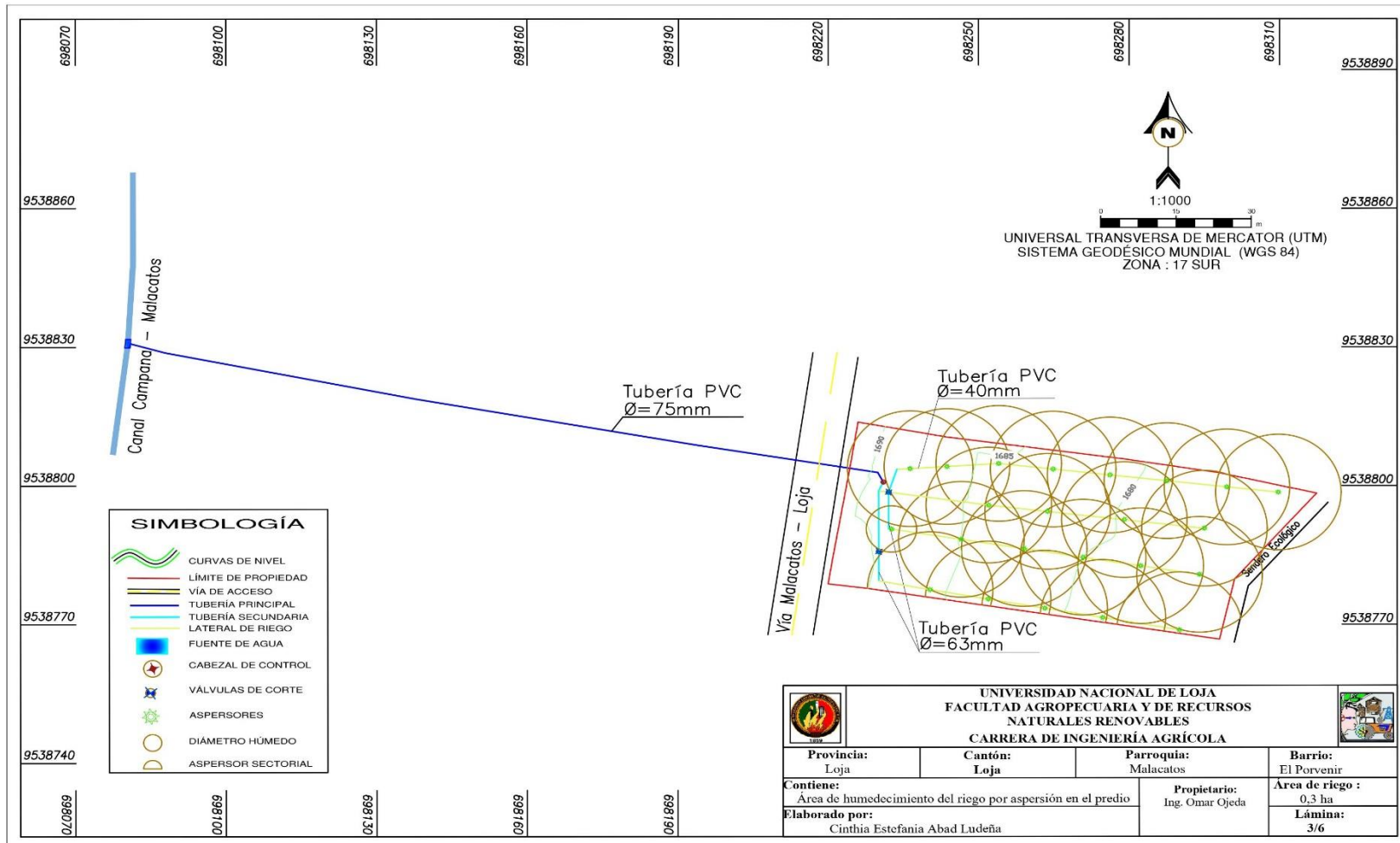


Figura 17. Aforo del caudal disponible en el predio

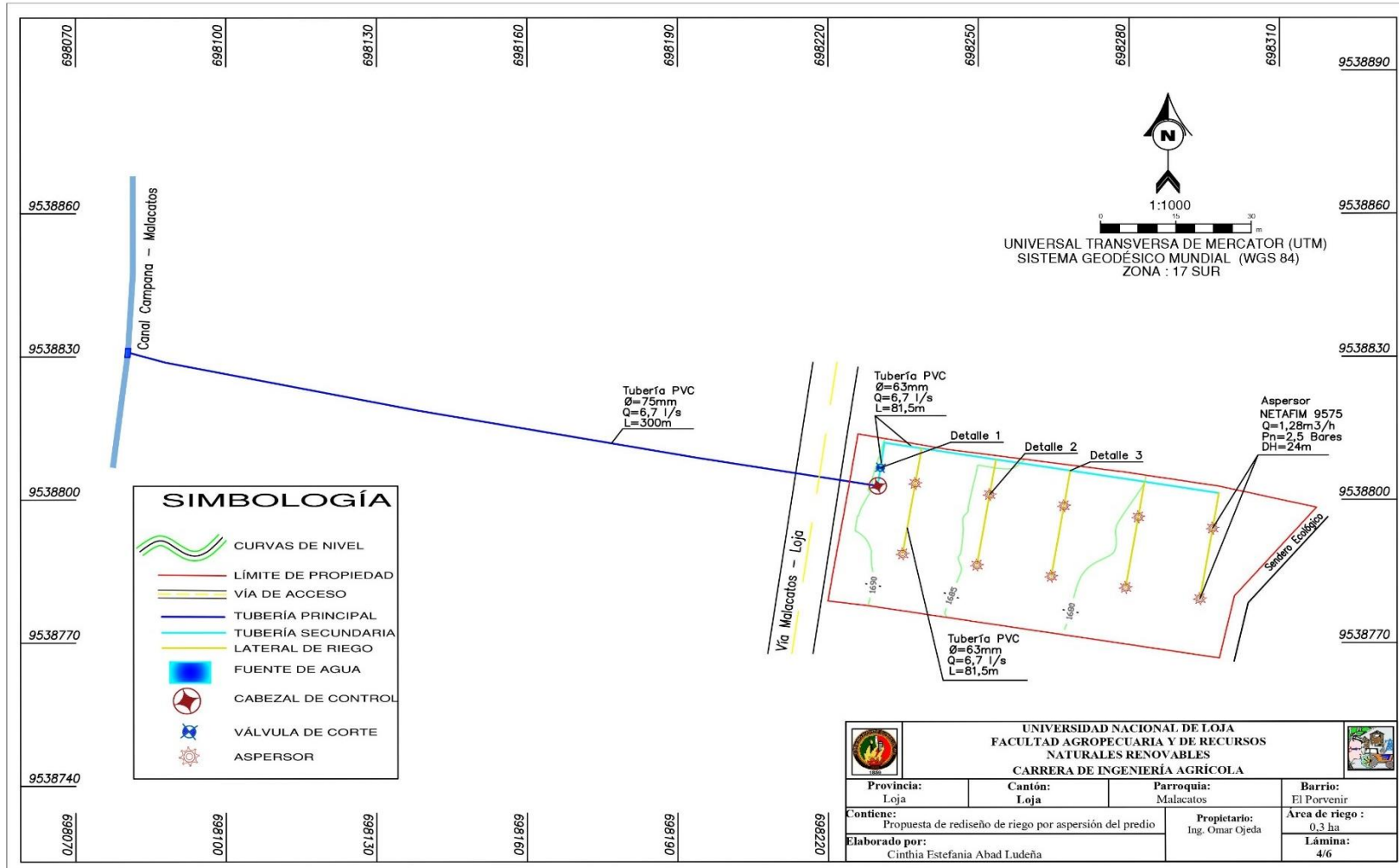
Anexo 13. Plano del riego por aspersión actual en el predio



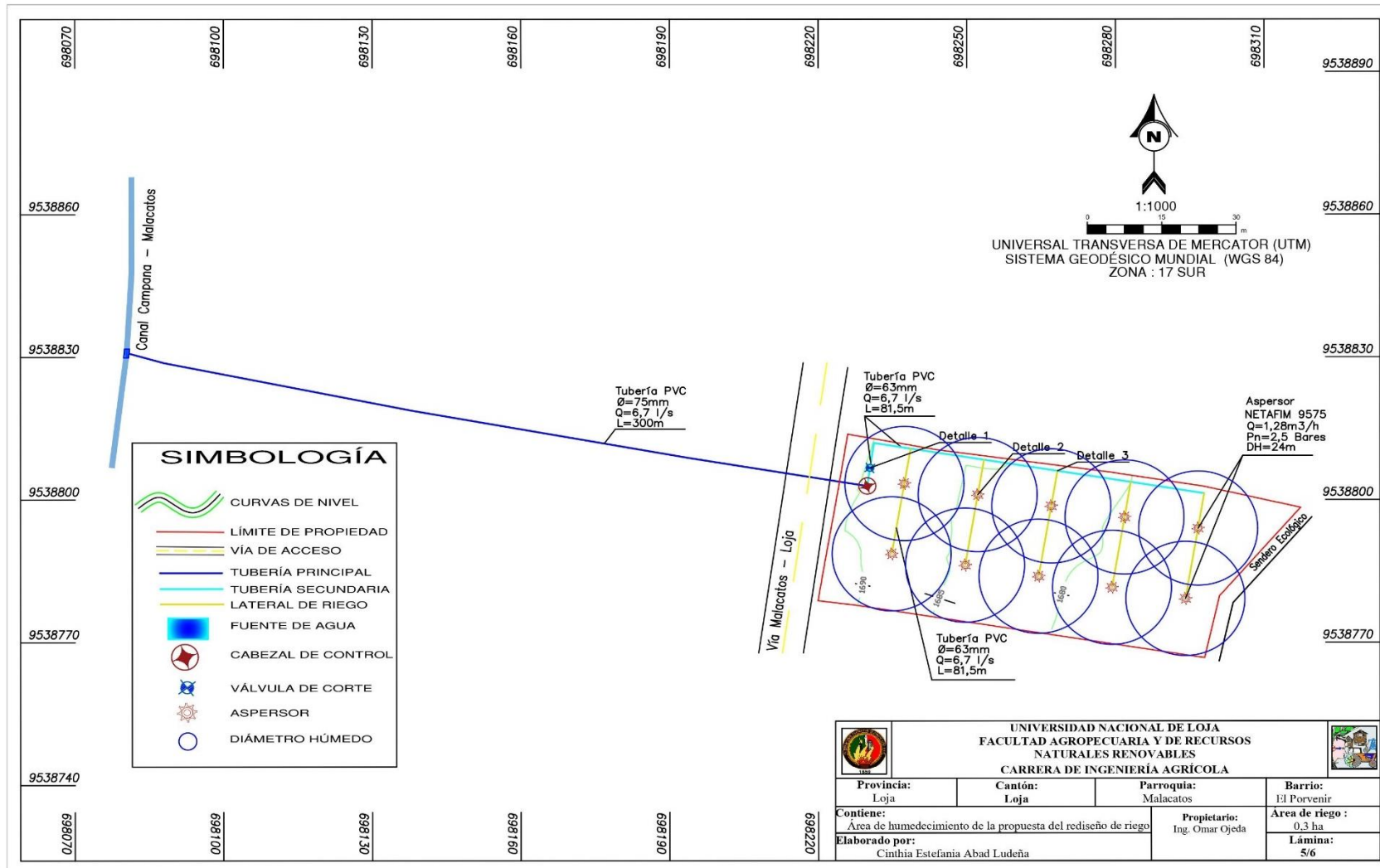
Anexo 14. Plano del área de humedecimiento del riego por aspersión en el predio



Anexo 15. Plano de la propuesta de rediseño del riego



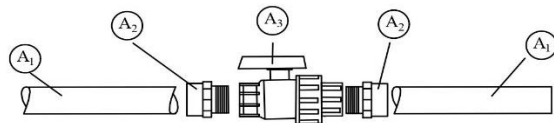
Anexo 16. Plano del área de humedecimiento del rediseño de riego



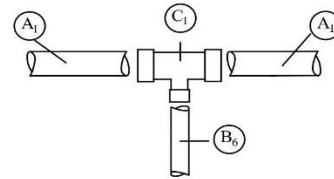
Anexo 17. Esquemas de instalación del rediseño de riego

Esquemas de instalación de la propuesta del rediseño de riego

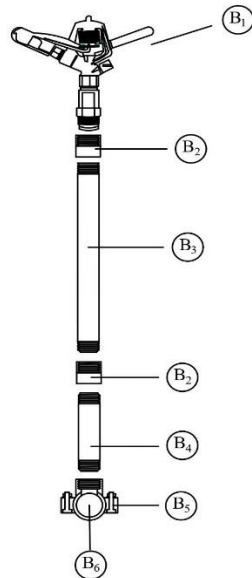
Detalle 1 . Instalación de la válvula de corte



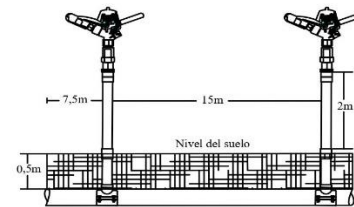
Detalle 3 . Instalación de la secundaria al lateral de riego



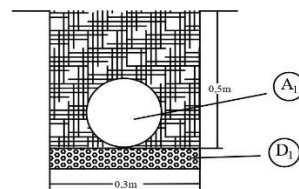
Detalle 2 . Instalación del aspersor y portaspersor



Detalle 4 . Instalación del lateral de riego



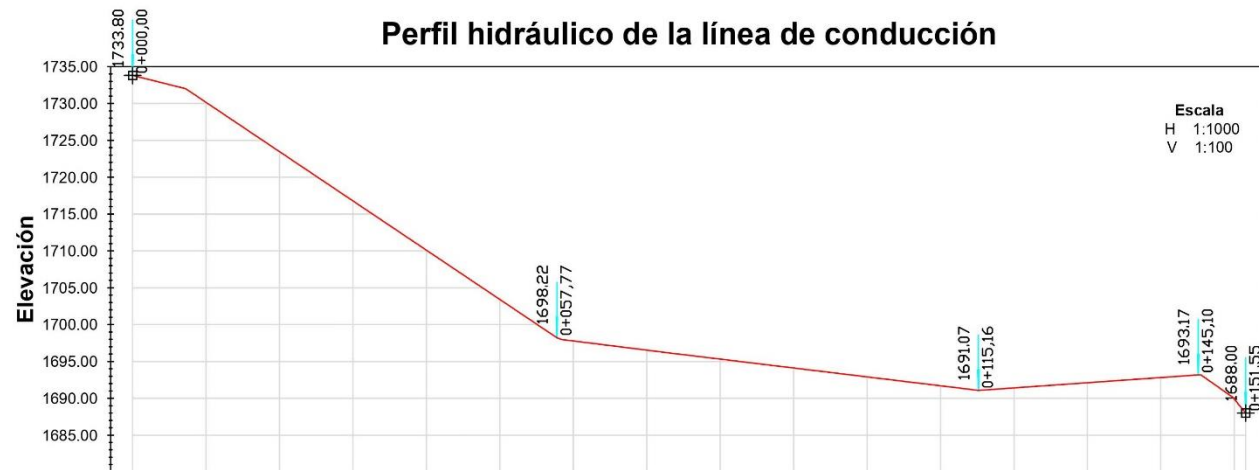
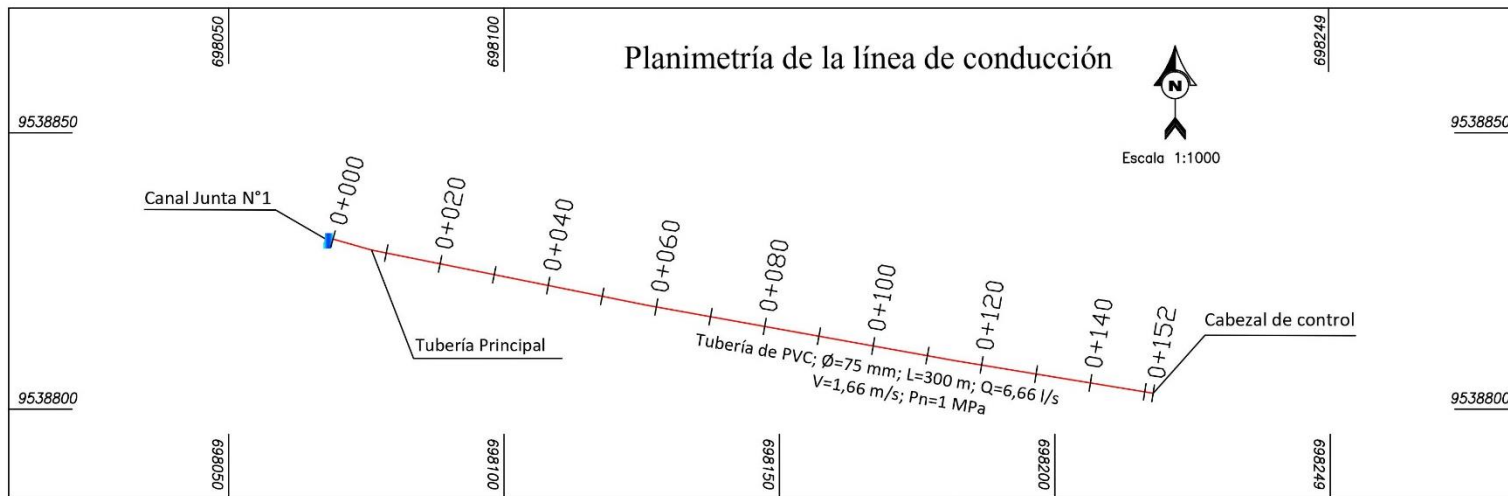
Detalle 5 . Zanja de la tubería secundaria y laterales de riego



Item	Descripción	Unidad	Cantidad
A ₁	Tubo PVC Ø= 63mm; Pn= 1 MPa	U	6
A ₂	Adaptador Macho PVC Ø= 63mm x 2"	U	5
A ₃	Válvula de bola Ø= 63mm	U	1
B ₁	Aspersor NETAFIM 9575 Ø= 1/2" Q= 1,28 m ³ /h; Pn= 2,5 bares; Dh= 24 m	U	10
B ₂	Unión PVC Ø= 1/2"	U	20
B ₃	Tubo PVC roscable Ø= 1/2" x 2m	U	10
B ₄	Neplo PVC Ø= 1/2" x 30cm	U	10
B ₅	Collarín Ø= 40mm x 1/2"	U	10
B ₆	Tubo PVC Ø= 40mm	U	19
C ₁	Tee PVC Reductora Ø= 63mm x 40mm; Pn= 1MPa	U	6
D ₁	Cámara de apoyo para tubería (granular) e=5cm	m ³	1,35

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA 			
Provincia: Loja	Cantón: Loja	Parroquia: Malacatos	Barrio: El Porvenir
Contiene: Esquemas de instalación del rediseño de riego		Propietario: Ing. Omar Ojeda	Área de riego : 0,3 ha
Elaborado por: Cinthia Estefanía Abad Ludeña			Lámina: 6/6

Anexo 18. Planimetría y perfil de la línea de conducción



ABSCISA	COTA TERRENO	DATOS HIDRÁULICOS
0+000,00	1733,80	Canal
0+002,00	1733,31	
0+004,00	1732,81	
0+006,00	1732,31	
0+008,00	1731,81	
0+010,00	1731,31	
0+012,00	1730,81	
0+014,00	1730,31	
0+016,00	1729,81	
0+018,00	1729,31	
0+020,00	1728,81	
0+022,00	1728,31	
0+024,00	1727,81	
0+026,00	1727,31	
0+028,00	1726,81	
0+030,00	1726,31	
0+032,00	1725,81	
0+034,00	1725,31	
0+036,00	1724,81	
0+038,00	1724,31	
0+040,00	1723,81	
0+042,00	1723,31	
0+044,00	1722,81	
0+046,00	1722,31	
0+048,00	1721,81	
0+050,00	1721,31	
0+052,00	1720,81	
0+054,00	1720,31	
0+056,00	1719,81	
0+058,00	1719,31	
0+060,00	1718,81	
0+062,00	1718,31	
0+064,00	1717,81	
0+066,00	1717,31	
0+068,00	1716,81	
0+070,00	1716,31	
0+072,00	1715,81	
0+074,00	1715,31	
0+076,00	1714,81	
0+078,00	1714,31	
0+080,00	1713,81	
0+082,00	1713,31	
0+084,00	1712,81	
0+086,00	1712,31	
0+088,00	1711,81	
0+090,00	1711,31	
0+092,00	1710,81	
0+094,00	1710,31	
0+096,00	1709,81	
0+098,00	1709,31	
0+100,00	1708,81	
0+102,00	1708,31	
0+104,00	1707,81	
0+106,00	1707,31	
0+108,00	1706,81	
0+110,00	1706,31	
0+112,00	1705,81	
0+114,00	1705,31	
0+116,00	1704,81	
0+118,00	1704,31	
0+120,00	1703,81	
0+122,00	1703,31	
0+124,00	1702,81	
0+126,00	1702,31	
0+128,00	1701,81	
0+130,00	1701,31	
0+132,00	1700,81	
0+134,00	1700,31	
0+136,00	1699,81	
0+138,00	1699,31	
0+140,00	1698,81	
0+142,00	1698,31	
0+144,00	1697,81	
0+146,00	1697,31	
0+148,00	1696,81	
0+150,00	1696,31	
0+151,55	1688,00	
		Cabezal de control



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Provincia: Loja	Cantón: Loja	Parroquia: Malacatos	Barrio: El Porvenir
Contiene: Perfil y planimetría de la línea de conducción		Propietario: Ing. Omar Ojeda	Área de riego : 0,30 ha
Elaborado por: Cinthia Estefanía Abad Ludeña			Lámina: 1/1

Anexo 19. Diseño de la encuesta aplicada

**Universidad Nacional de Loja
Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera De Ingeniería Agrícola**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS MÉTODOS DE RIEGO DE LA JUNTA N°1
DEL SISTEMA DE RIEGO CAMPANA-MALACATOS**

La encuesta tiene como objetivo recabar información para la caracterización de los métodos de riego de la Junta N°1, perteneciente al Sistema de Riego Campana-Malacatos, del cantón Loja, por lo cual se le pide a usted de favor proporcionar información misma que será manejada con fines académicos.

Nombre del Informante (Predio)	
Cantón/Parroquia/Barrio/Sector	
Fecha	

1. COMPOSICIÓN FAMILIAR

Parentesco	Edad	Instrucción			
		Primaria	Secundaria	Superior	Posgrado

2. ESTRUCTURA AGRARIA, TENENCIA DE LA TIERRA

N° parcela	Forma de tenencia y de acceso					
	Propia	Arrendada	Comunitaria	Herencia	Posición	Otra

2.1. USO ACTUAL DEL PREDIO

Concepto	N° de parcela	Cultivos anuales (ha)	Cultivos perennes (ha)	Pastos (ha)	Bosque (ha)	Descanso (ha)	No aptas	TOTAL
Bajo el Canal								
Fuera del Canal								
TOTAL								

2.2. PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Cultivos	Unidad	Valor	Número (ciclos/año)	Superficie (ha)	Total de la producción (qq, u)

2.3. DESTINO DE LA PRODUCCIÓN

Cultivos	Consumo		Venta		Precio		Lugar de venta			
	u	qq	u	qq	u	qq	Finca	Parroquia	Cantón	Otros

3. ORGANIZACIÓN SOCIAL

Participa activamente de la Junta de Riego	SI		NO	
--	----	--	----	--

3.1. FUNCIÓN Y ORGANIZACIÓN

Función que cumple			Cada que tiempo se reúnen							
Socio	Directivo	Otra:	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Trimestral	Anual	Otra:	

3.2. PROBLEMAS Y BENEFICIOS DE LA JUNTA DE REGANTES

Problemas	Beneficios recibidos

3.3. PROBLEMAS Y BENEFICIOS EN LA INFRAESTRUCTURA

Infraestructura	Estado actual			Costo mensual por el agua (ha)
	Bueno	Regular	Malo	
Canal de Riego				

4. INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EN LA PARCELA

Forma de riego	Si	No	Superficie (ha, cuerdas, metros)	Cultivos
Aspersión				
Microaspersión				
Goteo				
Gravedad				
Otros (Especifique)				
Costo del riego implementado				
¿Cómo realizó la instalación del riego?				
¿Cuáles son los problemas en el riego?				

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL METODO DE RIEGO UTILIZADO

Método de riego	Frecuencia de riego					Horario de aplicación				N° horas	Caudal ingreso al predio
	Diari	Se	Quincenal	Mens	Otro	Mañana	Tarde	Noche	Otro		
Aspersión											
Microaspersión											
Goteo											
Gravedad											

Anexo 20. Tabulación de las encuestas aplicadas

Tabla 51.

Población por rango de edad de los encuestados

Rangos de Edad	Masculino	Femenino	Total	%
>20	0	0	0	0,0
20 - 40	4	3	7	9,0
40 - 70	33	18	51	68,0
> 70	7	10	17	23,0
Total	44	31	75	100,0

Elaborado: La autora

Tabla 52.

Instrucción de los encuestados

Descripción	Población	%
Primaria	53	71,0
Secundaria	15	20,0
Superior	2	3,0
Posgrado	5	7,0
Total	75	100,0

Elaborado: La autora

Tabla 53.

Tenencia de tierras de los encuestados

Descripción	Frecuencia	%
Propia	49	65,0
Herencia	22	29,0
Posición	1	1,0
Arrendado	3	4,0
Total	75	100

Elaborado: La autora

Tabla 54.

Cultivos predominantes en la Junta N°1

Cultivos	Superficie (ha)	%
Guineo	2,30	8,38
Yuca	1,51	5,52
Café	12,27	44,81
Frutales	8,78	32,06
Aguacate	0,18	0,64
Caña	1,98	7,21
Maíz	0,32	1,17
Frejol	0,05	0,19
Total	27,38	100,00

Elaborado: La autora

Tabla 55.

Destino de la producción de la Junta N°1

Descripción	Usuarios	%
Venta	20	26,67
Autoconsumo	55	73,33
Total	75	100,00

Elaborado: La autora

Tabla 56.*Lugar de venta de la producción de la Junta N°1*

Descripción	Frecuencia	%
Parroquia	15,0	75,0
Cantón	4,0	20,0
Otro (Extranjero)	1,0	5,0
Total	20,0	100,0

Elaborado: La autora**Tabla 57.***Producción anual de la Junta N°1*

Descripción	Producción anual (qq)	%
Cultivos de ciclo corto (maíz, frejol, hortalizas)	32,5	0,5
Cultivos anuales (yuca, caña)	1713,3	24,1
Cultivos perennes (frutales, aguacate, zapotes)	3888,9	54,6
Huerta (café y guineo)	1488,2	20,9
Total	7122,8	100,0

Elaborado: La autora**Tabla 58.***Participación frecuente de los usuarios de la Junta N°1*

Descripción	Frecuencia	%
Si	41	55,0
No	34	45,0
Total	75	100,0

Elaborado: La autora**Tabla 59.***Frecuencia de las reuniones en la Junta N°1*

Descripción	Total	%
Anual	75	100,0
Total	75	100,0

Elaborado: La autora**Tabla 60.***Costo por el agua en la Junta N°1*

Costo del agua (ha/año)	Frecuencia	%
15 – 25	63	84,0
26 – 35	9	12,0
56 – 65	2	2,7
> 65	1	1,3
Total	75	100,0

Elaborado: La autora**Tabla 61.***Problemas presentes en la Junta N°1*

Descripción	Frecuencia	%
Falta de compromiso de usuarios	28	37,3
Impuntualidad en pagos	9	12,0
Mala administración	2	2,7
Usuarios no legalizados	9	12,0
Mala distribución entre usuarios	3	4,0
Contaminación del agua	4	5,3
Ninguno	20	26,7
Total	75	100,0

Tabla 62.*Métodos de riego en la Junta N°1*

Descripción	Frecuencia	%
Aspersión	44	58,7
Gravedad (Manguera)	31	41,3
Total	75	100,0

Elaborado: La autora**Tabla 63.***Forma de instalación de los métodos de riego en la Junta N°1*

Descripción	Total	%
Propio	33	44,0
Técnico	11	14,7
Ninguno	31	41,3
Total	75	100,0

Elaborado: La autora**Tabla 64.***Problemas en los métodos de riego de la Junta N°1*

Descripción	Frecuencia	%
Pérdidas de agua al momento de regar	7	9,3
Problemas de instalación	9	12,0
Irregularidad del agua en la parcela	15	20,0
Ninguno	44	58,7
Total	75	100,0

Elaborado: La autora**Tabla 65.***Costo de los métodos de riego de la Junta N°1*

Descripción	Usuarios	%
< 500	46	61,3
500 – 1000	20	26,7
1000 – 3000	8	10,7
> 3000	1	1,3
Total	75	100,0

Elaborado: La autora**Tabla 66.***Frecuencia de riego en la Junta N°1*

Descripción	Total	%
Diario	15	20,0
Semanal	40	53,3
Quincenal	16	21,3
Mensual	4	5,3
Total	75	100,0

Elaborado: La autora**Tabla 67.***Horario de aplicación del riego en la Junta N°1*

Descripción	Total	%
Mañana	41	54,7
Tarde	17	22,7
Noche	17	22,7
Total	75	100,0

Elaborado: La autora

Tabla 68.

Tiempo de riego en la Junta N°1

Descripción (horas)	Total	%
< 5	29	38,7
6 – 12	41	54,7
> 12	5	6,7
Total	75	100,0

Elaborado: La autora

Tabla 69.

Caudal de ingreso al predio en la Junta N°1

Descripción (l/s)	Total	%
0,25 – 0,5 l/s	42	56,0
1 – 2,25 l/s	15	20,0
3 – 4 l/s	18	24,0
Total	75	100,0

Elaborado: La autora

Anexo 21. Certificado de traducción del resumen



Loja 22 de marzo de 2023

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo Kevin Raul Condolo Jiménez con número de cédula 1104130024 y con certificación ESOL International (CEF B2) registrado en Pearson Edexcel & Pearson Education Ltd con número serie PQS19 15714694850.

CERTIFICO:

Que he realizado la traducción de español al idioma Inglés del resumen del presente trabajo de titulación denominado "Evaluación de un sistema de riego por aspersión en un predio del sector El Porvenir, Parroquia Malacatos", de autoría de Cinthia Estefanía Abad Ludeña, con CI 1105996969, estudiante de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a la interesada hacer uso del presente en lo conveniente.

ESOL Prof.: Kevin Raúl Condolo Jiménez
C.I: 1104130024
Registro de certificación: PQS19 15714694850

