UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

"Mejoramiento del sistema de riego por aspersión en café, en el barrio "La Era", parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja".

Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Agrícola.

Autor:

Jenniffer Elizabeth Castillo Vega.

Director:

Ing. Luis Sivisaca Caraguay Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2020

Certificación del director de tesis

Ing. Luis Sivisaca Caraguay Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de investigación titulado ""**MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN CAFÉ, EN EL BARRIO LA ERA, PARROQUIA EL TAMBO, CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA**"; ejecutado por la egresada Jenniffer Elizabeth Castillo Vega, con número de cédula de identidad 1105667289, previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrícola, ha sido prolijamente revisado, culminando dentro del cronograma establecido, por lo que se autoriza su presentación para la calificación y sustentación pública correspondiente.

Loja, 21 de febrero de 2020

.....

Ing. Luis Sivisaca Caraguay Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

CERTIFICAN

Que el proyecto de tesis titulado **"MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN CAFÉ, EN EL BARRIO "LA ERA", PARROQUIA EL TAMBO, CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA"** realizado por la Srta. Egresada **Jenniffer Elizabeth Castillo Vega**, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrícola, ha incorporado las observaciones realizadas por el tribunal en el momento de la calificación. Por lo que se autoriza la impresión del trabajo y continuar con los trámites de graduación.

Loja, 26 de junio del 2020

.....

Ing. Wilman Aldeán Guamán Mg.Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....

Ing. Geovanni Gaona Aguirre Mg.Sc.

VOCAL

.....

Ing. Marco Reinoso Acaro M.Sc.

VOCAL

Autoría

Yo, **Jenniffer Elizabeth Castillo Vega** declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Autor: Jenniffer Elizabeth Castillo Vega.

Firma: .....

Cédula:11056672889

Fecha: 02 -07-2020

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, Jenniffer Elizabeth Castillo Vega, declaro ser autora de la tesis titulada **"MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN CAFÉ, EN EL BARRIO "LA ERA", PARROQUIA EL TAMBO, CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA"**, como requisito para optar al grado de Ingeniera Agrícola, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

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

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 2 días del mes de julio de dos mil veinte firma el autor.

Firma:.....

Autor: Jenniffer Elizabeth Castillo Vega

Número de cédula: 1105667289

Dirección: Loja (Str. San Sebastián, cl. Andrés Bello y Miguel A. Suarez)

Correo electrónico: jecastillov@unl.edu.ec

Teléfono: 2589809

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de tesis: Ing. Luis Sivisaca Caraguay Mg.Sc.

Tribunal de grado: Ing. Wilman Aldeán Guamán Mg.Sc.

Ing. Geovanni Gaona Aguirre Mg.Sc.

Ing. Marco Reinoso Acaro M.Sc.

Agradecimiento

A Dios que me ha permitido llegar a estas instancias y cumplir con mis metas académicas. A la Universidad Nacional de Loja, a la carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables, por los conocimientos impartidos durante mi formación academia durante todos estos años de estudio.

Agradezco a mi director de tesis Ing. Luis Sivisaca, quien con su apoyo, dedicación y conocimientos hizo que el presente trabajo de investigación se realizara adecuadamente.

Así también al Sr. Eduardo Zhingre quien facilito su predio para la realización de este trabajo, sin su apoyo esto sería prácticamente imposible.

A mis padres y hermano que siempre me han brindado su apoyo y aliento en cada momento de mi vida, facilitando mi proceso académico con sus consejos y recomendaciones constantemente.

Dedicatoria

Dedico mi trabajo realizado a Dios, quien ha guiado mis pasos siempre, con sabiduría y fortaleza y nunca me abandonado a pesar de todo.

A mis abuelos maternos que están en el cielo, quienes fueron un pilar fundamental en mi vida, gracias por inculcar en mi la humildad, valentía y responsabilidad para afrontar la vida.

A mi madre y hermano Carmen y Cristian quienes, con su amor, paciencia dedicación, consejos y sobretodo el sacrificio han permitido hoy llegar a cumplir mis metas.

A mi familia por apoyarme y a todos quienes fueron parte de mi vida universitaria.

Jenniffer Elizabeth Castillo Vega.

Índice de Contenidos

Contenido **Pág**

Certificación del director de tesis.....ii
Certificación de miembros del tribunal.....iii
Autoría.....iv
Carta de autorización.....v
Agradecimiento.....vi
Dedicatoria.....vii
Índice de contenidos.....viii
Resumen.....viii
Abstract.....xiv
1. Introducción.....1
2. Revisión bibliográfica.....3
2.1. Relación agua, suelo, planta y atmosfera 3
2.1.1. Características hidrofísicas del suelo. 3
2.1.2. Infiltración del agua en el suelo. 7
2.2 Formas de expresar el contenido de agua en el suelo. 10
2.2.1. Contenido de agua en unidades de masa (Ɵm). 10
2.2.2. Contenido de agua en unidades de volumen (Ɵv). 10
2.2.3. Contenido de agua en unidades lineales (mm). 11
2.2.4. Evaluación del contenido de agua del suelo. 11
2.3. Curva de retención de agua en el suelo 13
2.3.1. Aplicaciones de la curva de retención de agua del suelo. 14
2.4. El riego 14
2.5. Métodos de riego parcelario. 15
2.5.1. Riego gravitacional. 15
2.5.2. Riego presurizado 16
2.6. Clasificación de los sistemas de riego por aspersión 17
2.7. Componentes del sistema de riego por aspersión.....18
2.7.1. Fuente o captación de agua. 18
2.7.3. Red de conducción. 18

2.7.4. Red de aplicación. 19
2.8. Marcos de riego 21
2.9. Efecto de la velocidad del viento en el sistema por aspersión 22
2.10. Evaluación de los sistemas de riego por aspersión 22
2.10.1. Eficiencia de aplicación del riego por aspersión (Eap). 23
2.10.2. Uniformidad del riego por aspersión. 23
2.11. Diseño agronómico 24
2.11.1. Morfología del cultivo de café (catucaí amarillo 2SL). 24
2.11.2. Necesidades hídricas de los cultivos. 26
2.11.3. Parámetros para el diseño agronómico de riego por aspersión. 28
2.12.Diseño hidráulico 32
2.12.1. Pérdidas de carga en tuberías. 32
2.12.2. Diseño de tubería lateral. 34
2.12.3. Diseño de la tubería secundaria. 35
2.12.4. Diseño de la tubería principal. 35
2.13. Programación de riego 35
2.13.1. Métodos para la programación del riego. 36
3. Materiales y métodos 38
3.2. Descripción del área de estudio 38
3.3. Materiales y equipos 39
3.4. Metodología para el primer objetivo 39
3.4.1. Determinación de los parámetros hidrofísicos del suelo. 39
3.4.2. Evaluación de las condiciones físicas del suelo. 42
3.4.3. Velocidad de infiltración básica. 43
3.5. Metodología para el segundo objetivo 44
3.5.1. Evaluación del diseño agronómico. 44
3.5.2. Evaluación del diseño hidráulico. 45
3.5.3. Rediseño del sistema de riego. 47
3.6. Metodología para el tercer objetivo 59
4. Resultados y discusión 60
4.2. Resultados para el primer objetivo 60
4.2.1. Textura.. 60

4.2.2. Densidad aparente. 60
4.2.3. Contenidos de humedad en el suelo. 61
4.2.4. Curva de retención de humedad. 62
4.2.5. Evaluación de las condiciones física del suelo. 62
4.2.6. Velocidad de infiltración básica. 63
4.3. Resultados para el segundo objetivo 64
4.3.1. Evaluación del diseño agronómico. 64
4.3.2. Evaluación del estado actual de la infraestructura hidráulica. 65
4.3.3. Rediseño del sistema de riego. 66
4.4. Resultados para el tercer objetivo 79
4.4.1. Operación. 79
5. Conclusiones..……..……..……..……..81
6. Recomendaciones…...……..……..82
7. Bibliografía……83
8. Anexos……...90

Índice de tablas

Tabla 1.Velocidad de infiltración del agua según la textura del suelo. 8
Tabla 2. Clasificación de la velocidad de infiltración básica. 9
Tabla 3.Valores promedio de las características físicas de los suelos de la Región Sur del Ecuador. 12
Tabla 4. Valores de succión: atmosferas/bares y cm de columna de agua; y su equivalencia a valores pF. 13
Tabla 5.Eficiencias de riego estimadas en función del método de riego. 15
Tabla 6.Reducción de la intensidad de precipitación debido a la pendiente del terreno. 20
Tabla 7. Reducción del espaciamiento entre aspersores según Heerman y Kohi (1980). 22
Tabla 8. Eficiencias de aplicación del agua en algunos sistemas de riego por aspersión en condiciones ambientales favorables. 23
Tabla 9.Clasificación de la calidad del riego en función del coeficiente de uniformidad. 24
Tabla 10.Valores de coeficiente de cultivo, para café de 0 a > 3 años, según su densidad de siembra. 27
Tabla 11.Valores del coeficiente de fricción C. 33

Tabla 12. Determinación de Factor de Corrección Fc para cálculo de caudales por el método del Flotador. 48
Tabla 13. Contenidos de humedad en el suelo en estudio en términos de volumen. 61
Tabla 14.Determinación de la velocidad de infiltración básica. 64
Tabla 15. Datos agronómicos del sistema de riego por aspersión actualmente. 64
Tabla 16. Evaluación de las características hidráulicas del sistema de riego implementado. 65
Tabla 17. Evapotranspiración de referencia (Eto). 67
Tabla 18. Evapotranspiración del cultivo (Etc). 68
Tabla 19. Precipitación efectiva. 68
Tabla 20. Necesidades de riego calculadas. 69
Tabla 21. Características del aspersor seleccionado. 72
Tabla 22. Cálculos de la evaluación del diseño agronómico. 74
Tabla 23.Cálculo de pérdidas de carga por fricción en las tuberías. 75
Tabla 24. Presupuesto para el rediseño del sistema de riego en la finca del Sr. Eduardo Zhingre. 78
Tabla 25. Programación de riego en la finca de estudio. 79

Índice de figuras

Figura 1.Formas de agua en el suelo sus coeficientes hídricos. 3
Figura 2.Triángulo textural de USDA. 4
Figura 3. Curva de humedad del suelo con el punto de inflexión que determina la Capacidad de Campo (CC) del suelo después del riego. 6
Figura 4.Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo. 12
Figura 5.Curvas de retención de agua en el suelo. 14
Figura 6. Marcos de riego por aspersión. 22
Figura 7. Ubicación geográfica de la zona de estudio. 38
Figura 8. Determinación de la curva de retención de agua en los suelos de estudio. 62
Figura 9. Cálculo de las presiones máxima y mínima. 75
Figura 10. Curva de infiltración acumulada primera prueba. 93
Figura 11. Curva de infiltración acumulada segunda prueba. 94
Figura 12. Curva de infiltración acumulada tercera prueba. 95

Mejoramiento del sistema de riego por aspersión en café, en el barrio “La Era”, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.

Resumen

El presente trabajo de tesis denominado “Mejoramiento del sistema de riego por aspersión en café, en el barrio “La Era”, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja”, se realizó en la finca del Sr. Eduardo Zhingre, en lo cual se puedo evidenciar problemas con el riego debido a una mala distribución del agua sobre el cultivo, para lo cual se planteó realizar un mejoramiento del sistema, que permita garantizar una mejor distribución del agua sobre el cultivo, optimizando el recuso agua. La superficie evaluada consta de dos áreas de cultivo de 0,7 y 0,52 ha.

Se realizó la caracterización de las propiedades hidrofísicas del suelo, tomándose muestras no disturbadas con los cilindros Koppecky de 100 cm^3, para determinar valores de textura, densidad aparente, capacidad de campo a 1/3 y a 1/10 atm, punto de marchitez permanente a 15 atm, capacidad de aireación y agua aprovechable, así también mediante cilindros infiltrómetros se calculó la velocidad de infiltración del agua en el suelo. En el diseño agronómico se calculó, las necesidades hídricas del cultivo de café, para ello se aplicó el método de Penman-Montieth considerando datos meteorológicos (1995 – 2015) de las estaciones de Catamayo, Malacatos y Nambacola, dichos datos fueron necesarios para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, evapotranspiración de cultivo, la lámina de riego, tiempos y frecuencias de riego. En el diseño hidráulico se calculó las pérdidas por fricción (Hf) de la red hidráulica, principal, secundaria y laterales, mediante la fórmula de Hazen-Williams, además se calculó el coeficiente de Christiansen para las tuberías con multisalidas. Para la evaluación de la uniformidad de aplicación del riego, se realizó mediante el coeficiente de uniformidad de Christiansen.

Mediante la evaluación agronómica del sistema de riego se determinó, que el cultivo se está regando actualmente con una frecuencia de riego 2 días y 12 horas, en función de los cálculos se propone regar con una frecuencia 4 días y un tiempo de 4 horas, para compensar una lámina de 21 mm. La evaluación hidráulica del sistema, proporciona un valor del coeficiente de uniformidad CU del 71%, considerándose una distribución del riego regular. En base a los resultados obtenidos se realizó el rediseño del sistema de riego, en el cual se determinó las especificaciones técnicas de las tuberías, accesorios y aspersores de riego.

Palabras claves: riego, café, hidrofísicas, agronómico, hidráulico, coeficiente de uniformidad, evaluación.

Abstract

The present thesis work called "Improvement of the irrigation system by sprinkling in coffee, in the neighborhood" La Era ", parish El Tambo, canton Catamayo, province of Loja", was carried out on the estate of Mr. Eduardo Zhingre, in which can show problems with irrigation due to a poor distribution of water on the crop, for which it was proposed to carry out an improvement of the system, which would guarantee a better distribution of water on the crop, optimizing the water resource. The evaluated surface consists of two cultivation areas of 0,7 and 0,52 ha.

The characterization of the hydrophysical properties of the soil was carried out, taking undisturbed samples with the 100 cm3 Koppecky cylinders to determine texture, bulk density, field capacity at 1/3 and 1/10 atm, permanent wilting point at 15 atm, aeration capacity and usable water, as well as infiltration cylinders, the infiltration rate of water into the soil was calculated. In the agronomic design, the water needs of the coffee crop were calculated, for this the Penman-Montieth method was applied considering meteorological data (1995 - 2015) from the stations of Catamayo, Malacatos and Nambacola, these data were necessary for the calculation reference evapotranspiration, crop evapotranspiration, the irrigation sheet, irrigation times and frequencies. In the hydraulic design, the friction losses (Hf) of the hydraulic network, main, secondary and lateral, were calculated using the Hazen-Williams formula, and the Christiansen coefficient was calculated for multi-outlet pipes. For the evaluation of the uniformity of irrigation application it was carried out using the Christiansen uniformity coefficient.

Through the agronomic evaluation of the irrigation system, it was determined that the crop is currently being watered with a frequency of irrigation of 2 days and 12 hours, based on the calculations, it is proposed to irrigate with a frequency of 4 days and a time of 3.5 hours , to compensate for a 16 mm sheet. The hydraulic evaluation of the system, provides a value of the coefficient of uniformity CU of 70%, considering a distribution of regular irrigation. Based on the results obtained, the redesign of the irrigation system was carried out, in which the technical specifications of the irrigation pipes, accessories and sprinklers were determined.

Keywords: irrigation, coffee, hydrophysics, agronomic, hydraulic, uniformity coefficient, evaluation.

1. Introducción

En Ecuador el café es de gran importancia económica debido a que se encuentra distribuido en 23 de las 24 provincias del país y es reconocido como uno de los pocos países que exporta café de calidad a nivel mundial (Venegas, Orellana, y Pérez, 2018) a pesar de esto, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2016), menciona que los cultivos de café, son cultivados inadecuadamente afectando directamente su producción, los cafetales manejados tradicionalmente, representan un 85%, produciendo a penas 5,18 qq/ha y el 15 % que es realizado tecnificadamente produce hasta 16 qq/ha.

En el ámbito social, el riego brinda una importante contribución para el desarrollo de la agricultura, mediante la articulación de organizaciones y movilización social en el agro, generación de empleo, atenuación de la migración rural y la contribución a la estabilización de precios de los productos agrícolas bajo riego (Zapatta y Pierre, 2015).

Según el MAG (2016), señala que el manejo del cultivo de café en la provincia de Loja, ha sido afectado debido a prácticas inadecuadas, registrándose producciones de 3 a 3,6 qq/ha y a nivel nacional hasta 16 qq/ha/año, siendo bajo en comparación a otras provincias y a nivel nacional; a su vez el Consejo Nacional Cafetalero (2010), corrobora que dichos rendimientos son bajos pues las prácticas de riego más utilizadas son por surcos o superficiales.

Los problemas de desarrollo y baja productividad de los cultivos, en la parroquia el Tambo, se inician en los meses de verano comprendidos desde abril a diciembre, según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, El Tambo 2014-2015, en estos meses los cultivos no cuentan con el agua para cubrir las necesidades hídricas siendo necesario aplicar riego para solventar la necesidad de agua del cultivo.

El presente trabajo de tesis se lo realizó en la finca del señor Eduardo Zingre, en un área de riego por aspersión de 1,22 ha en el cual se evidenciaron problemas, falta de tecnificación, desconocimiento en el tiempo y la frecuencia de riego apropiados, el espaciamiento adecuado entre aspersores, la baja uniformidad de aplicación del riego, además se observó que el sistema del riego superficial en la finca produce erosión del suelo.

Por ello, se planteó la propuesta de “Mejoramiento del sistema de riego por aspersión en café, en el barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja”, con el fin de mejorar el sistema de riego implementado, para optimizar el recurso agua, cubriendo

las necesidades hídricas del cultivo de café, el mejoramiento de la eficiencia y uniformidad en el riego que contribuye a dotar del contenido de humedad óptimo para el desarrollo del cultivo de café y, además a mejorar la productividad del cultivo. Para dar cumplimiento al trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Contribuir al mejoramiento de la producción y productividad del cultivo de café bajo riego en el sector La Era.

Objetivos específicos:

- Caracterizar las propiedades hidrofísicas del suelo en el sistema de riego implementado.
- Evaluar el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego por aspersión implementado (en caso de ser necesario rediseñar el sistema de riego a implementarse).
- Elaborar una programación de riego que permita un mejor funcionamiento y mantenimiento del sistema de riego con el fin de obtener una mejor producción.

2. Revisión bibliográfica

2.1. Relación agua, suelo, planta y atmosfera

La relación agua, suelo, planta y atmósfera es de gran importancia en el riego, drenaje, hidrología y otras ciencias relacionadas con los recursos hídricos, en particular por la gran diversidad de métodos de riego que actualmente existen y, además actualmente surge la necesidad de aprovechar más eficientemente el uso del agua (Rojas, 2008).

El agua es el principal componente para la vida de los seres vivos, entre ellas las plantas, ocupando entre un 75 % y 90 % del tejido vegetal, según la especie. Dado que estas se encuentran ancladas al suelo y conectas a la atmósfera, necesitando de agua para su normal funcionamiento, así también el suelo, por su capacidad para almacenar agua aire y nutrientes para que estas la extraigan y por ende sobrevivir, esto depende del tipo de suelo, la capacidad de retención, el movimiento del agua en el suelo y la transpiración (Angella, Frías y Salgado, 2016).

2.1.1. Características hidrofísicas del suelo.

Las características hidrofísicas del suelo son definidas a través de la interacción entre el suelo y agua; entre ellas se encuentran la textura del suelo, la densidad aparente, los índices de humedad como: la saturación, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, capacidad de aireación y agua aprovechable, elementos que se grafican en la Figura 1. Estos a su vez indican la calidad física del suelo proporcionando información de cómo se encuentra el mismo (Valverde, 2007).

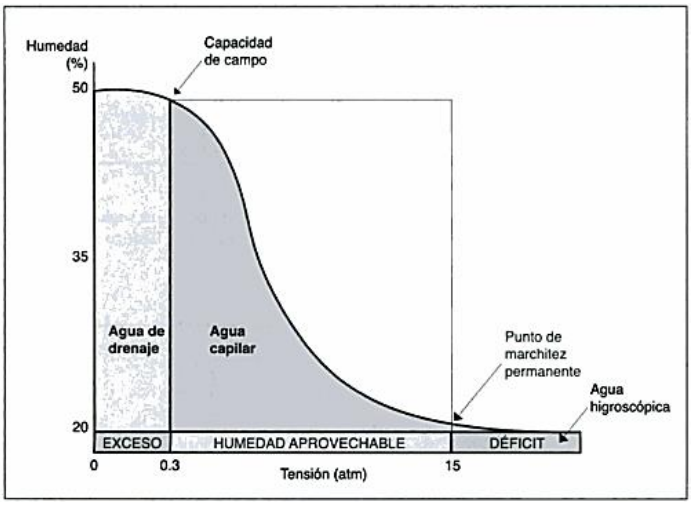


Figura 1.*Formas de agua en el suelo sus coeficientes hídricos.*

Fuente: Valverde (2007).

a) Textura del suelo.

La textura del suelo indica el contenido de partículas de diferente tamaño, y se representa en porcentaje de arena, limo y arcilla. Está relacionada con la facilidad con la que el suelo retiene agua, aire y la velocidad con la que el agua entra en el suelo (FAO, 2000).

Para determinar la textura de los suelos existen varios métodos, entre ellos el método de campo que consiste en determinar el porcentaje de limo, arena y arcilla, la técnica consiste en realizar barrenados y calicatas hasta 1 m de profundidad o más, es entonces cuando se conjuga "tacto" y "vista" para definir el tipo de suelo. En laboratorio la más común es por volumen de sedimentación, por el método de la pipeta, y por el método Bouyucos. Para determinar el tipo de textura se utiliza el triángulo textural de USDA mostrado en la Figura 2 (el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

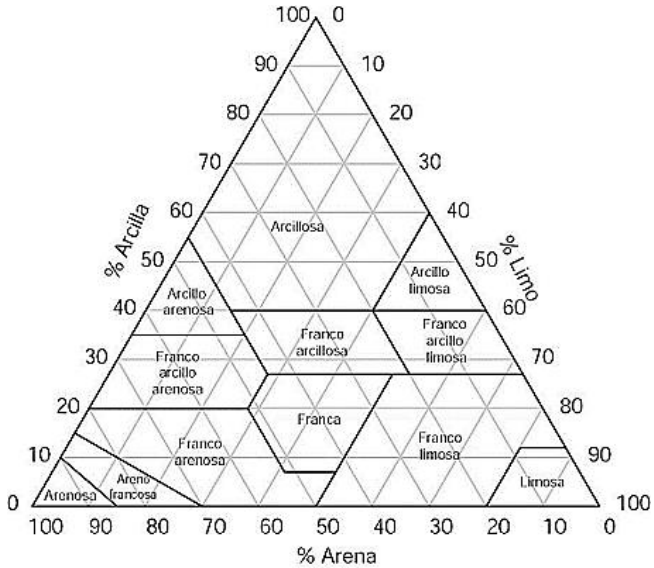


Figura 2*.Triángulo textural de USDA.*

Fuente: Santos, (2010).

b) Densidad Aparente.

La densidad aparente influye muy importantemente en la productividad de los cultivos, por estar relacionada directamente con la compactación del suelo, influye en la textura del suelo, la elongación de las raíces; el dato de la densidad aparente también sirve para convertir datos de masa a volumen (Salamanca y Sadeghian, 2005). La densidad aparente del suelo se define como la relación entre la masa del suelo seco (g) y el volumen total aparente (cm^3).

$$Da\left(\frac{g}{cc}\right) = \frac{Peso\ de\ la\ muestra\ seca\ a\ 105\ °C\ (g)}{Volumen\ del\ cilindro\ muestreador\ (cc)}$$

La densidad aparente del suelo es variable de acuerdo al tipo de textura, estructura y su compactación; cuando mayor es el espacio poroso del suelo, menor va a ser la densidad aparente. Una de las causas más importantes por las cuales un suelo no almacena agua es la disminución del espacio poroso (Otero, Montoya y García, 2017).

c) Porosidad.

Según Salgado (2001), la porosidad del suelo son los espacios vacíos entre partículas y agregados, que son ocupados por aire y agua del suelo, y es expresada como porcentaje de poros en relación al volumen total del suelo, mediante la siguiente fórmula:

$$P= (1- da/dr) \times 100$$

P= Porosidad (%).
Da= Densidad aparente (g/cc).
Dr= densidad real (g/cc).

Los espacios de poros varían en tamaño, dependiendo del tipo de suelo, por ejemplo, en suelos arenosos poseen mayor proporción de macroporosidad, mientras que, en suelos arcillosos de texturas más finas, prevalecen los microporos (Rojas 2008).

Clasificación de los poros por su diámetro

microporos	20 a 60 µm
macroporos	> 60 µm

Los suelos con mayor cantidad de macroporos tienen la capacidad para retener mayor cantidad de aire, contribuyendo a la aireación, debido a que el agua contenida se pierde por fuerza gravitatoria, provocando su drenaje natural; mientras que los suelos con mayoría de microporos son capaces de retener mayor cantidad de agua, y solamente se pierde al momento de que se genera una diferencia de potencial (Rojas 2008).

d) Contenido del agua en el suelo

El contenido de agua en el suelo, depende principalmente de la capacidad que tiene el suelo para poder retener el agua a una presión negativa, es así que la disponibilidad del agua depende de la relación existente entre la presión del suelo y la humedad en los sistemas hidrológicos en estudio, entre ellas se puede encontrar el agua aprovechable para la plantas, entre la

capacidad de campo y el punto de marchitez, lo cual si se encuentra en estado de saturación o punto de marchitez son desfavorables para un correcto desarrollo de la planta (Pérez y García, 2015).

e) Saturación del suelo (ϴSAT).

Es el contenido de humedad en del suelo en condiciones de saturación, se encuentra con una tensión pF=0, la porosidad se encuentra ocupada por el agua, esto quiere decir que la saturación es similar a la porosidad (Valarezo *et al*., 1998).

Según Angella, Frías y Salgado (2016), la saturación de un suelo se alcanza cuando el agua llena todos los poros desalojando al aire. Si esta se prolonga las plantas mueren por asfixia de las raíces.

f) Capacidad de campo (ϴCC).

La capacidad de campo se determina cuando un suelo saturado va drenando lentamente, proceso que puede durar hasta 15 días. El tiempo que se considera para que el drenaje sea despreciable, se ha fijado arbitrariamente en 2 o 3 días después del riego o lluvias abundantes como se muestra en la Figura 3, lo cual difiere para algunos suelos, la CC por lo general corresponde a una succión de 1/3 bares (Arango, 2017).

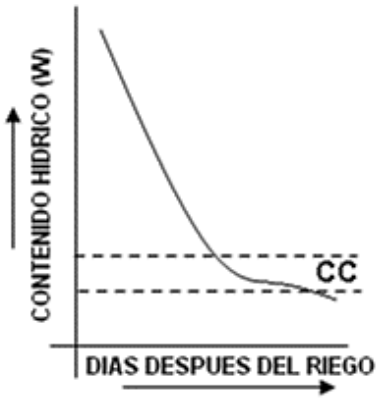


Figura 3*. Curva de humedad del suelo con el punto de inflexión que determina la Capacidad de Campo (CC) del suelo después del riego.*
Fuente: Angella, Frías, y Salgado (2016).

La CC es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la acción de la gravedad, esta agua puede estar disponible para las plantas. Los poros pequeños retienen

agua en contra de la fuerza de la gravedad, y los macroporos están en buena parte ocupados por aire (Angella, Frías, y Salgado, 2016).

Para determinar la capacidad de campo en el laboratorio se satura muestras no disturbadas, las cuales se someten a una succión de 1/3 y 1/10 bares (1/10 bar para suelos arenosos y 1/3 bares para suelos arcillosos). Esas muestras se pesan, luego se secan en estufa a 105 °C y se vuelven a pesar, obteniéndose el porcentaje de humedad gravimétrica (Calvache, 2012).

g) Punto de marchitez permanente (ϴPMP).

El punto de marchitez permanente corresponde a una succión de 15 bares, que es la succión máxima que puede realizar la planta para abastecer sus necesidades hídricas, si la planta se encuentra en este punto se presenta marchitamiento y puede morir. El PMP cambia dependiendo de la textura del suelo, por ejemplo, en suelos arcillosos es mayor y en suelos arenosos es menor. (Silva et al., 2015).

También se define como el contenido de humedad del suelo en el que la planta ya no tiene la capacidad de absorber agua del suelo, haciendo que la planta se marchite y muera; por ello muy importante administrar agua adicional para que las plantas no estén sometidas a un estrés hídrico y sufran un descenso en su rendimiento (Zotarelli, Dukes, y Morgan, 2019).

h) Agua aprovechable (AA).

El agua aprovechable (AA), es la principal fuente de agua para el desarrollo de las plantas es la cantidad de agua retenida en el suelo entre la capacidad de campo (2,5 pF) y el punto de marchitez permanente (4,2 pF). Sin embargo, el agua aprovechable no es constante a lo largo de este rango, el AA es muy importante para el diseño de sistemas de riego (Valarezo *et al* 1998).

Se considera como agua rápidamente utilizable o potencialmente extractable por las plantas en la zona de crecimiento radical. Esta es la fracción del agua del suelo que puede perderse por evaporación o variar por el consumo de las plantas (Zotarelli, Dukes, y Morgan, 2019).

2.1.2. Infiltración del agua en el suelo.

Se define como el agua que penetra en el suelo, en forma vertical y horizontal. La velocidad de infiltración depende de las características físicas del suelo como se observa en la Tabla 1;

se la determina por medio de cilindros infiltrómetros, en los cuales se coloca agua para determinar el tiempo que demora en descender, el cual con el tiempo va disminuyendo y tiende a alcanzar un ritmo constante (Valverde, 2007).

Tabla 1.*Velocidad de infiltración del agua según la textura del suelo.*

Textura del suelo	Velocidad de infiltración (mm/h)
Suelo arcilloso	1 – 5
Suelo limoso	8 -12
Suelo arenoso	25 – 50

Fuente: Valverde (2007).

Existen algunas ecuaciones que relaciona la lámina infiltrada acumulada y la velocidad de infiltración en función del tiempo. La más utilizada a los fines del riego es la de Kostiakov (1932):

a) Velocidad de infiltración instantánea:

$$VI = k * t^{(b)}$$

$$t = 10(1-n)$$

Donde:

VI = velocidad de infiltración instantánea (cm/h).
a= Coeficiente que representa la velocidad de infiltración en un tiempo igual a 1 minuto, (min).
t= Tiempo de infiltración que viene dado en horas, (h).
k y n= exponentes adimensionales negativo, entre 0 y -1 correspondiente a la pendiente de la curva.

b= Coeficiente, que representa a un exponente sin dimensión, siempre es negativo y con valores que, van de 0 a -1 para suelos agrícolas.

b) Infiltración acumulada (I acum):

$$\textbf{I acum} = A * t^{n}$$

Donde:

I acum = infiltración acumulada (cm/h).
A= Parámetro que considera las características del suelo.
B= Parámetro que considera la infiltración en la unidad de tiempo.

t= Tiempo en horas.

n= exponente adimensional que correspondiente a la pendiente de la curva.

c) Infiltración promedio (Ip):

$$\mathbf{Ip} = Icum/t$$

Donde:

Ip= Infiltración promedio (mm/h).
I acum = infiltración acumulada (mm/h).
t= tiempo (horas).

d) Velocidad de infiltración básica (VIB):

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

Donde:

k y b = Parámetro que considera las características del suelo.

Para obtener los valores de a y b, se realiza por medio de dos métodos que pueden ser por el método gráfico en papel doble logaritmo y el método de los mínimos cuadrados, de los cuales se obtiene la ecuación de la infiltración. La clasificación de la infiltración se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. *Clasificación de la velocidad de infiltración básica.*

Clasificación	VIB (mm/h)
Muy baja	< 2.5
Baja	2.5 a 15
Media	15 a 28
Alta	28 a 53
Muy alta	> 53

Fuente: Valverde (2007).

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

Según Valarezo *et al* (1998), el contenido de agua en el suelo puede expresarse en unidades de masa (*Θm*), volumen (*Θv*) y unidades lineales (*mm*) como se manifiesta a continuación:

2.2.1. Contenido de agua en unidades de masa (Θm).

Es la relación existente entre la masa de agua (Mw) y la masa de sólidos del suelo (Ms), se obtiene al relacionar el cociente entre la masa de agua presente en la muestra húmeda y la masa de ésta después de habido sido secada a 105º C por 24 horas.

Para obtener el valor en términos porcentuales se multiplica por 100.

$$\%\theta m = \frac{Mw}{Ms} * 100$$

Con datos obtenidos del laboratorio se calcula así:

$$\theta m = (PMH - PMS)/PMS$$

Donde:

θm = Contenido de humedad en términos de masa, (%).
PMH = Peso de la muestra de húmeda, (g).
PMS = Peso de la muestra seca a 105ºC.

El θm puede ser mayor a 100 % en suelos altamente orgánicos o de origen volcánico, estos suelos retienen cantidades importantes de agua.

2.2.2. Contenido de agua en unidades de volumen (Θv).

Es la relación existente entre el volumen de agua (Vw) y el volumen total del suelo (Vt), se expresa en términos porcentuales:

$$\%\theta v = \frac{\mathrm{Vw}}{Vt} x\ 100$$

Para transformar el contenido de humedad en términos de volumen, se debe multiplicar por la densidad aparente (Da).

$$\theta v = \theta m\ x\ Da$$

El contenido de humedad en términos de volumen (θv) nunca puede ser mayor a 100 %. Sin embargo, en suelos arcillosos el contenido de agua a saturación puede exceder la porosidad total del suelo seco, debido a que estos suelos se hinchan sobre humedeciéndose.

2.2.3. Contenido de agua en unidades lineales (mm).

Es la altura del agua que se formaría si se extrajera toda el agua del suelo y se estancara sobre la superficie.

La lámina se define como el volumen de agua θv, que contiene el suelo por unidad de área, hasta una profundidad especifica (p), y se expresa mediante la siguiente relación:

$$La_{mm} = \theta v * p;$$

Donde:

La_{mm} = Lámina de riego, (mm).
θv = Contenido de humedad en términos de volumen, (%).
p = Profundidad de riego específica, (mm).

Consideraciones importantes:

1 % de volumen de humedad = 1 mm en una capa de suelo de 1 cm de espesor.
1 mm= 10 m^3/ha =1 L/m^2.

2.2.4. Evaluación del contenido de agua del suelo.

Para la evaluación de las condiciones físicas del suelo se utiliza el diagrama triangular que representa la distribución de los volúmenes de las tres fases del suelo sólido (parte mineral), líquido (agua que rellena parte de los huecos entre las partículas sólidas) y gaseoso (aire que se difunde en el suelo desde la atmósfera, a través de los espacios entre las partículas y los gases producidos en el propio suelo). Este diagrama sirve para conocer la condición física del suelo en relación con el crecimiento de las plantas, así también se presenta en la Tabla 3 valores de las características físicas de los suelos importantes para la clasificación del mismo.

Tabla 3.*Valores promedio de las características físicas de los suelos de la Región Sur del Ecuador.*

Textura	***Espacio poroso %***	***Densidad Aparente (g/cc)***	***Capacidad de campo % en peso***	***Punto de marchitamiento % en peso***	***Capacidad de aireación % en peso***	***Agua Aprovechable % en peso***
Fo. Ao	35,69 (21,53-57,25)	1,52 (0,99-1,87)	28,76 (16,69-53,58)	14,08 (5,24-30,24)	6,94 (2,07-18,97)	14,64 (10,86-17,62)
Fo	44,35 (35,71-63,50)	1,34 (0,89-1,59)	38,76 (21,44-59,80)	21,75 (8,25-41)	5,59 (3,70-14,27)	17,01 (9,14-21,58)
Fo Ac-Ac	47,32 (39,50-67,3)	1,39 (1,05-1,64)	35,45 (27,40-50,04)	20,59 (11,41-32,41)	11,87 (1,13-26,57)	14,86 (12,25-17,63)
Ac Lo. Ac	49,52 (42,57-53,23)	1,25 (1,12-1,37)	46,70 (40,17-53,23)	30,92 (27,32-34,52)	2,82 (2,40-3,23)	15,78 (12,85-18,72)
Fo – Lo	50,72 (50,67-50,76)	1,25 (1,22-1,28)	47,23 (46,57-47,90)	18,67 (4,43-32,91)	3,48 (2,870-4,10)	28,56 (13,65-43,47)
Ac.	53,78 (42,02-64,87)	1,23 (0,80-1,49)	48,62 (35,69-59,00)	31,69 (13,69-40,73)	5,16 (1,83-20,93)	16,93 (9,26-24,12)
Fo.Ac	49,51 (36,70-73,17)	1,23 (0,63-1,83)	45,64 (35,77-67,37)	24,99 (9,87-36,21)	3,87 (0,93-8,27)	21,75 (11,44-38,57)

Fuente: Valarezo *et al* (1998).

En el triángulo de la Figura 4, se encuentran valores porcentuales del volumen de la capacidad de aireación, agua aprovechable y el volumen físicamente inerte. El diagrama se encuentra dividido en 5 zonas, la zona I que representa una condición muy pobre para el desarrollo de las plantas, zona II pobre, zona III medio, zona IV bueno y zona V muy bueno (Valarezo *et al* 1998).

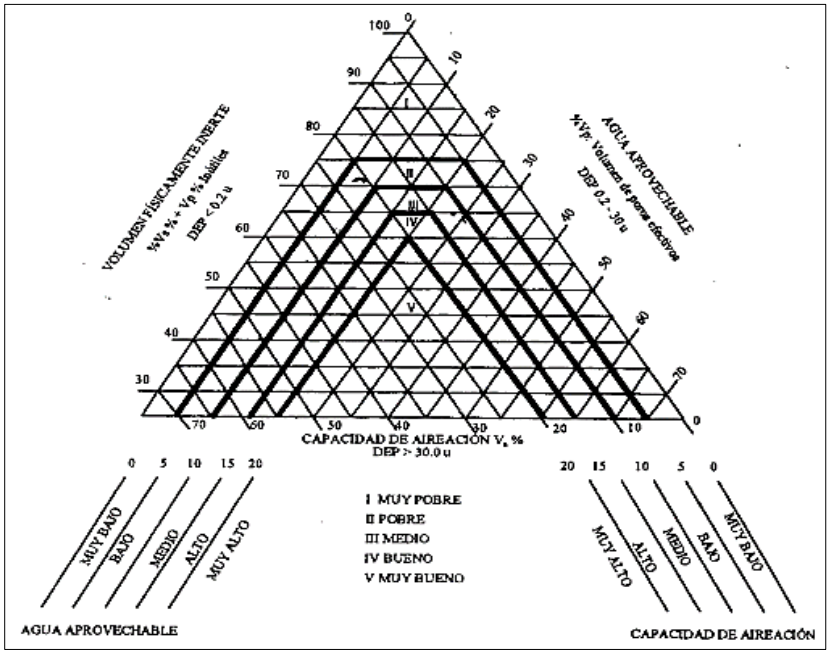


Figura 4*.Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.*
Fuente: Tomado de ILACO, B.V. 1981, citado por Valarezo *et al* (1998).

2.3. Curva de retención de agua en el suelo

"La curva característica de retención de humedad (Figura 5) expresa la relación entre el contenido de agua (θm) y el potencial matricial del suelo (ψ, Pa). Esta correspondencia proporciona información sobre características importantes como la capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo, la capacidad de campo y el punto de marchitamiento" (Pérez y García, 2015, p.327).

Según Valarezo *et al*., (1998), cuando disminuye el contenido de agua en el suelo, aumenta el trabajo necesario para extraer agua como se muestra en la Tabla 4. Es por ello que la curva de retención de agua en el suelo se puede determinar al momento del equilibrio de agua, esto se logra aplicando varias cargas de presión. La curva se la realiza con la carga de presión (h), frente al contenido de humedad (θv).

Tabla 4. *Valores de succión: atmosferas/bares y cm de columna de agua; y su equivalencia a valores pF.*

Atm/bar	Altura de agua cm	pF
1/1000	1	0
1/100	10	1,0
1/10	100	2,0
1/3	346	2,54
1	1 000	3,0
10	10 000	4,0
15	15 849	4,2
100	100 000	5,0

Fuente: Valarezo *et al.* 1998.

Los factores que determinan la forma de la curva de retención de agua del suelo son; la textura, estructura y la materia orgánica.

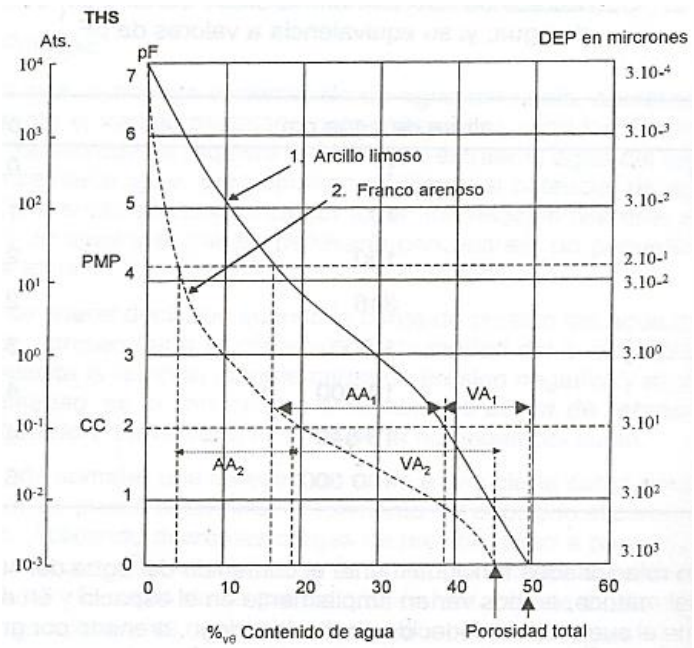


Figura 5.*Curvas de retención de agua en el suelo.*
Fuente: Valarezo et al (1998).

2.3.1. Aplicaciones de la curva de retención de agua del suelo.

Según Valarezo *et al.* (1998), la información obtenida de la curva de retención permite:

- Conocer la capacidad de aireación del suelo y el espacio poroso drenable.
- Determinar el volumen total de poros y su distribución.
- Establecer el rango de agua aprovechable para la planta y el volumen de agua aprovechable.
- Conocer el espacio poroso físicamente inerte.
- Diseño de proyectos de riego y drenaje.
- Manejo y conservación de suelos y aguas.
- Operación del riego.
- Evaluar los cambios de porosidad y los rangos de tamaño de los poros, para el adecuado manejo del suelo dependiendo de su actividad.

2.4. El riego

El riego es un proceso que consiste en la aplicación de agua a la tierra artificialmente en zonas donde no existe precipitaciones constantes, cuando el contenido de humedad es bajo se obstaculiza la absorción de agua por parte de las raíces, por ello es justo regar para restablecer la humedad y que las plantas puedan disponer de ella. Los cultivos para poder desarrollarse necesitan absorber agua del suelo para garantizar una mejor producción (Zapatta y Gasselin, 2005).

"El riego es un componente principal en la producción agrícola que influye directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas, existen diferentes métodos para irrigar que permiten incrementar la producción, productividad, como son el riego superficial, aspersión, micro aspersión y goteo" (Hargreaves y Merkley, 2000, p.76).

Existen varias técnicas de irrigación, la eficiencia de estos métodos depende de la situación o cultivo presentes, cada uno se ajusta mejor a un determinado cultivo, por lo cual no se constata que uno sea mejor que otro, aunque presentan diferencias en la eficiencia de aplicación del agua. En el riego se deben disminuir las pérdidas de recurso hídrico, con un uso más eficiente, con un adecuado manejo del agua, controlando láminas y realizando programaciones de riego eficientes (Demin, 2014).

2.5. Métodos de riego parcelario.

Los métodos de riego parcelario tienen la finalidad de suministrar agua a los cultivos, en una cantidad óptima y necesaria, de tal manera que estos puedan alcanzar un desarrollo normal y óptimo. Los principales sistemas utilizados son por superficie, aspersión y localizado variando en su eficiencia de aplicación (Tabla 5).

Tabla 5.*Eficiencias de riego estimadas en función del método de riego.*

Método de riego	% Eficiencia
Gravitacional	45 – 65
Aspersión	75 – 85
Goteo	85 – 90

Fuente: Valverde (2007).

2.5.1. Riego gravitacional.

En este sistema de riego el agua se transporta por gravedad, utilizando la superficie del suelo como parte del sistema de distribución del agua. Su eficiencia es del 50 al 60 %, dependiendo de su tecnificación, su eficiencia puede ser incrementada. El caudal va disminuyendo a través de su transcurso, por motivo de infiltración en el suelo. En estos sistemas la mayor pérdida de agua se produce por escurrimiento superficial y por percolación profunda, ésta ocasiona lixiviación de nutrientes y sales del suelo, dañando las aguas que posteriormente son utilizadas para el riego (Moratiel, 2017).

Estos sistemas tienen la ventaja de ser de muy bajo costo de instalación y su uso es prácticamente fácil; pero la desventaja es que no debe ser utilizado en terrenos desnivelados ya que impide su correcta distribución, y con suelos poco profundos (Yague y Legaspi, 1999).

2.5.2. Riego presurizado

a) Riego por goteo.

Consiste en aplicar agua directamente a la zona radicular de la planta, se utiliza pequeños caudales, a baja presión; se puede aplicar con alta frecuencia, reducen la evaporación y ayuda a mantener el suelo a capacidad de campo, para que las plantas absorban agua con mayor facilidad (Yague y Legaspi, 1999).

Son dispositivos mediante mangueras que aportan agua, gota a gota continuamente, lo más utilizados operan con caudales entre 1 hasta los 4 litros/hora.

b) Riego por microaspersión.

Son aparatos pequeños en forma de mini aspersores que arrojan agua en forma de lluvia fina directamente desde unos 30 cm de la superficie del suelo, con distancias de 1 a 2,5 m mojando superficies de 2 a 5 m de diámetro los caudales se encuentran entre 16 y 120 litros/hora.

La ventaja de este sistema es que se produce un buen ahorro de agua y pueden ser utilizados en terrenos con pendientes fuertes, suelos pedregosos y de baja infiltración. La eficiencia de aplicación es muy buena del 85 al 90 %. Una de las desventajas más importantes es su alta inversión económica.

c) Riego por aspersión.

El riego por aspersión es un sistema que se encuentran conectado por tuberías a presión, es una técnica donde se aplica agua artificialmente, en forma de lluvia, por medio de aspersores, el caudal emitido depende de la presión del aspersor (Bermudez y Mendoza, 2015).

Ventajas.

Tiene varias ventajas, entre ellas que la mano de obra de operación es menor que en otros sistemas de riego, se lo puede colocar en gran variedad de suelos; alcanza una eficiencia de

aplicación del 70 al 80 %; con equipo móvil o semimovil se puede utilizar en diferentes áreas, tiene fácil control de la lámina de riego, se pueden medir las cantidades de agua en forma cómoda y correcta, se reducen las pérdidas de fertilizante por lixiviación cuando se aplica fertirrigación (Zúñiga, 2004).

Desventajas.

Entre las desventajas se encuentran que el costo de inversión inicial es elevado, en algunos cultivos no es conveniente utilizar este método debido a que puede producir la caída de sus flores; tienen un alto requerimiento de energía (4 – 6 bares.); las corrientes de vientos elevados pueden dificultar su correcta distribución (Yague y Legaspi, 1999).

2.6. Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

Según la Consejería de Agricultura y Pesca (2010), los sistemas de aspersión se clasifican en dos grupos: sistemas estacionarios y sistemas de desplazamiento continuo.

a) Móviles.

Todos los elementos de instalación son móviles tuberías primarias, secundarias, terciarias y el equipo de bombeo. Se usan para dar riegos complementarios en parcelas pequeñas. El uso de estos sistemas cada vez es menor debido a las fugas, comprendidas entre un 10 y un 15%. El inconveniente de este sistema es que la mano de obra se incrementa debido a que se realizan varios cambios de posiciones y el transporte de tuberías.

b) Semifijos.

Son sistemas que, por lo general, tienen la tubería principal, secundaria, tercería y el bombeo enterrados. La parte del componente móvil, son mangueras conectadas a los aspersores que realizan varias posturas de riego, sin cambiar el ramal de aspersión. También pueden ser de tubería fija, el ramal está enterrado y al cambiar de postura se mueven los portaaspersores y aspersores.

c) Fijos.

Son sistemas en los cuales los elementos instalados se encuentran inmóviles, mojando toda la superficie de riego. Existen sistemas fijos permanentes, la tubería se mantiene fija durante

su ciclo de vida y las tuberías fijas temporales son instalados al inicio del ciclo de riego de cultivo y retirados a la culminación del ciclo.

2.7. Componentes del sistema de riego por aspersión

El sistema de riego por aspersión está constituido principalmente por la fuente de captación de agua, la fuente de energía hasta la zona de riego, fuente de impulsión, la red de conducción y la red de aplicación. Estos componentes son importantes para el desarrollo del mismo.

2.7.1. Fuente o captación de agua.

La fuente de agua puede provenir de un pozo, lago, río, reservorio, acequia o canal, por tanto, es muy importante conocer el caudal continuo para que esta sea capaz de suministrar la cantidad de agua necesaria para el cultivo. Las características más influyentes son ubicación, cantidad, calidad y costo de agua (Valarezo 2013).

2.7.2. Fuente de impulsión

a) El motor.

Puede ser eléctrico o de combustión interna. Se debe tomar en cuenta su potencia, número de revoluciones y la cantidad de combustible a utilizarse.

b) Las bombas.

Entre ellas la bomba centrifuga que es utilizada para acoplar a motores rápidos; la bomba de émbolo, adecuada para caudales pequeños y alturas grandes; y, las bombas sumergidas múltiples que se usan en pozos profundos.

2.7.3. Red de conducción.

“La red de conducción es el conjunto de tuberías que llevan el agua desde la toma de agua hasta los aspersores, situados en las distintas unidades y subunidades de riego. Está formada por la red principal o de alimentación, que distribuye el agua por la parcela (secundaria) y los ramales de aspersión (laterales), que derivan de los anteriores y conducen el agua hasta los aspersores” (Consejería de agricultura y pesca,1999, p.33). Según Valarezo (2013), el material del sistema de distribución de agua puede ser: hierro galvanizado, aluminio, PVC, asbesto cemento y polietileno.

2.7.4. Red de aplicación.

a) Aspersores.

Los aspersores son elementos dotados de una boquilla que determina el tamaño de la gota y el caudal necesario para los diferentes cultivos, están acoplados a un portaaspersor a alturas variables que producen la salida del agua en forma de gotas para irrigar la parcela (Valarezo, 2013).

La superficie mojada por el aspersor es en forma circular, esto es debido a la rotación del aspersor, se produce un efecto de reacción al impulso del chorro en el brazo del martillo, el cual vuelve su posición inicial por la acción de un resorte de tensión. La distancia entre aspersores es fundamental para producir una buena distribución del agua (Valarezo, 2013). Entre ellas se encuentran las siguientes características:

b) Pulverización.

Depende del diámetro de la boquilla y de la presión de funcionamiento. Para un determinado diámetro de boquilla, el tamaño de las gotas es mayor cuando la presión de funcionamiento es menor. Para una determinada presión de funcionamiento, el tamaño de las gotas es mayor al aumentar el diámetro de la boquilla. Las gotas de agua que son gruesas pueden destruir la estructura del suelo y las finas son arrastradas por el viento (Valarezo, 2013).

c) Pluviometría o 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 en mm/h. Se lo determina de la siguiente manera:

$$Ip=qa/(Sa * Sl) \text{ en mm/h}$$

Donde:

Ip= Intensidad de precipitación (mm/h).

qa= descarga del aspersor (l/h).

Sa=distancia entre aspersores (m).

Sl= distancia entre laterales (m).

Para un diseño de riego eficiente, la intensidad de precipitación del sistema de riego por aspersión, tiene que ser menor a la velocidad de infiltración básica del suelo. Esta relación se constituye en una condición importante para el diseño de riego.

$$Ip < VIb$$

La Ip de un sistema de riego por aspersión en terrenos con pendiente no es uniforme (Tabla 6), por lo cual se deberá reducir la misma en base a los siguientes rangos de pendiente (Valarezo, 2013).

Tabla 6*.Reducción de la intensidad de precipitación debido a la pendiente del terreno.*

Pendiente del terreno (%)	Reducción de la Ip (%)
0 – 5	0
6 – 8	20
9- 12	40
13 – 20	60
>20	75

Fuente: Valarezo (2013).

d) Presión de trabajo.

De baja presión.

Se usan principalmente para riego de hortalizas, frutales y jardinería. Los aspersores de impacto, trabajan a presiones menores de 2,0 bares. y con un caudal inferior a 0,27 l/s, con un radio de mojadura de 9 metros, utilizado en marcos de riego cuadrados y rectangulares con separación de 12 a 15 metros.

De media presión.

Trabajan a presión de 2,5 y 4 bares, utilizando una o más boquillas de entre 4 y 7 mm, con caudales entre 0,3 y 1,5 l/s. su radio de mojadura es de 10 y 20 metros. Son utilizados en gran diversidad de suelos y cultivos.

De alta presión.

La presión de trabajo es mayor a los 4 bares. Son de gran tamaño, más conocidos como “cañones”, y tienen hasta tres boquillas, se los utiliza para regar grandes extensiones, generalmente praderas, bananos, etc, donde no se produzcan daños al cultivo. Su caudal varía

de 1,6 l/s a 11 l/s y alcanzan un radio mojado de 30 y 75 metros. La distribución del agua es muy afectada por el viento y producen gotas muy grandes que mediante su impacto afectan a varios suelos y cultivos (CAP 1999).

e) Área mojada.

Aspersores circulares: Riegan la parcela en forma circular, y estos son colocados en el centro de la parcela.

Aspersores sectoriales: Estos aspersores tienen la ventaja de poder regularse el ángulo de la cobertura mojada (90º, 180º, 270º, etc.) con el que se desea trabajar, dependiendo del lugar donde se pretende regar pueden no regar la circunferencia completa. Suelen utilizarse en esquinas y laterales (CAP 1999).

f) Velocidad de giro.

Giro rápido: > 6 vueltas/min. Son de uso de jardinería, horticultura, viveros etc.

Giro lento: ¼ a 3 vueltas/min. Se usan generalmente en la agricultura.

2.8. Marcos de riego

Según Valarezo (2013), los esquemas de riego determinan la distancia entre aspersores y entre laterales. Las distancias deben permitir que se produzca una distribución razonable. Existen 3 formas para disponer los aspersores como se muestra en la Figura 6.

a) En cuadrado.

Ocupa los vértices del cuadrado siendo la distancia entre líneas y la distancia entre aspersores igual. Este tipo de marco se utiliza en zonas de escaso viento.

b) En rectángulo.

La separación mayor del rectángulo se aplicará a la separación entre líneas y la menor distancia se ocupará entre aspersores. Tiene como objetivo corregir la acción del viento sobre la distribución del agua.

c) En triángulo.

Los aspersores ocupan vértices en forma de triángulo equilátero. Es recomendado en zonas con vientos muy frecuentes, la distribución del agua es menor que en los marcos cuadrados.

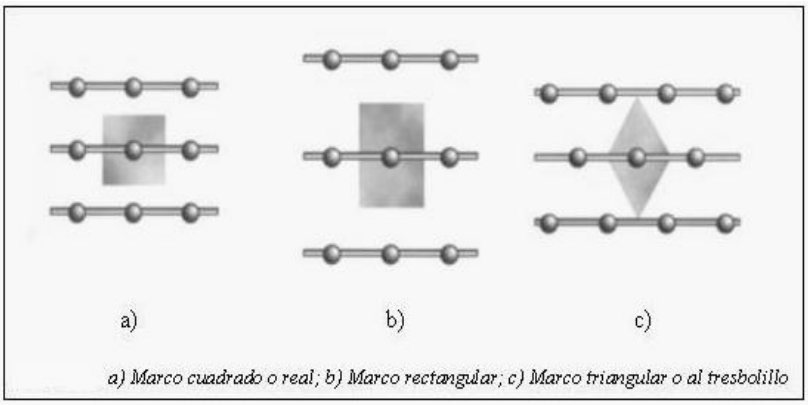


Figura 6. Marcos de riego por aspersión.
Fuente: Universidad de Sevilla, 2007.

Según Heerman y Kohi (1980), citado por Valarezo (2013) recomienda que: con vientos menores a 2 m/s, las separaciones en marcos cuadrado o en triangulo, deben ser el 60 % del diámetro efectivo del aspersor; y, en rectangulares del 40 y 75 % del diámetro efectivo mojado. Se considera diámetro efectivo, el 95 % del diámetro mojado para aspersores con dos boquillas y el 90 % para aspersores con una boquilla. Así mismo este espaciamiento debe reducirse al aumentar la velocidad del viento.

2.9. Efecto de la velocidad del viento en el sistema por aspersión

El viento es uno de los principales elementos que distorsiona la correcta distribución del chorro de agua en el terreno, por ello, a mayor velocidad del viento mayor será la distorsión del chorro, de tal manera que es muy importante conocer la velocidad del viento en la zona a irrigar y el marco de riego a utilizar, por esta razón se debe reducir el espaciamiento según la Tabla 7.

Tabla 7. *Reducción del espaciamiento entre aspersores según Heerman y Kohi (1980).*

Velocidad de viento (m/s)	**% de reducción**
4-6	10 – 12
8-9	18 – 20
10 – 11	25 – 30

Fuente: Valarezo (2013).

2.10. Evaluación de los sistemas de riego por aspersión

La evaluación en campo de los sistemas de riego permite conocer su funcionamiento del mismo y establecer criterios de manejo que mejoren la eficiencia y los resultados del riego.

Los sistemas de riego a presión se caracterizan por tener una determinada uniformidad en la aplicación de agua. Los valores de uniformidad bajos pueden afectar al rendimiento y/o calidad de los cultivos y a la eficiencia en el uso de agua (Naroua *et al.*, 2012).

2.10.1. Eficiencia de aplicación del riego por aspersión (Eap).

Es el porcentaje total de agua aplicada y aprovechada, para satisfacer las necesidades del cultivo y de lavado de sales del suelo, debido a que el resto se pierde por evaporación, escorrentía y percolación profunda (Zúñiga, 2004).

La eficiencia de aplicación mostrada en la Tabla 8, está estrechamente vinculada con la velocidad de infiltración del suelo, la capacidad de retención de agua en el suelo, la profundidad del suelo, su estratificación y la densidad aparente.

Tabla 8. *Eficiencias de aplicación del agua en algunos sistemas de riego por aspersión en condiciones ambientales favorables.*

Sistema	Eficiencia en %
Laterales fijos	80 - 85 %
Laterales móviles	70 - 75 %
Pistolas y cañones	60 - 65 %

Fuente: Zúñiga, 2004.

2.10.2. Uniformidad del riego por aspersión.

Representa la homogeneidad con la que el riego es repartido en la parcela, ya que una baja uniformidad puede representan áreas de suelo con exceso o escasez de agua. Para obtener una buena repartición o uniformidad del riego dependerá principalmente del marco de riego a utilizar, el tipo de aspersor, número de boquillas y presión de trabajo (Santos, 2010).

2.10.3. Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU).

Para determinar la eficiencia de riego por aspersión se utiliza el método del Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU), este coeficiente se lo calcula mediante la siguiente fórmula (Caicedo, Balmaseda y Proaño, 2015):

$$\boldsymbol{CUC = \left(1 - \frac{\sum(x - \bar{x}_1)}{n * \bar{x}}\right) * 100}$$

Donde:

CUC = Coeficiente de Uniformidad

$\bar{x}$= Promedio de caudales registrados (cm^3).

$(x - \bar{x}_1)$ = Valor absoluto. De la desviación de las observaciones individuales con respecto al promedio de caudales registrados.

n =Número de observaciones.

Para la práctica realizada se debe disponer de recipientes dispuestos en cuadrado y con una separación máxima de 2 metros entre ellos. Una buena uniformidad de riego debe alcanzar valores iguales o mayores al 85 % como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9*.Clasificación de la calidad del riego en función del coeficiente de uniformidad.*

CU(%)	Clasificación
> 90	Muy Buena
85 – 90	Buena
80 – 85	Aceptable
70 – 80	Regular
<85	Inaceptable

Fuente: Caicedo *et al.*, (2015).

2.11. Diseño agronómico

Como menciona Bojacá y Monsalve (2012); para el tipo de cultivo a regar, el diseño agronómico es parte fundamental en todo proyecto de riego, donde se evaluará: el terreno donde se instalará el sistema, la caracterización del suelo, la disponibilidad y calidad del agua, las necesidades de agua de los cultivos, cálculo de la lámina de riego a aplicar, la frecuencia de aplicación, el tiempo de riego y el método de aplicación del agua al cultivo.

2.11.1. Morfología del cultivo de café (catucaí amarillo 2SL).

La planta de café en contextos generales es un arbusto perenne, pertenece a la familia Rubiaceae, género Coffea, es una planta dicotiledónea de tipo arbustiva, su productividad comienza al tercer año de edad desde su siembra. La variedad de Catucaí 2sl, es de origen brasilero, presenta frutos amarillos y su tamaño de planta es bajo; esta variedad son plantas con una mayor productividad y resistentes a la roya del café. Su temperatura ideal es de 17 a 23 °C con una altitud de 500 hasta 1700 msnm, la precipitación alcanza valores entre 2.000 y

2.500 mm. Son aptas para lugares de ladera debido a su tamaño pequeño y mayor crecimiento de sus ramas secundarias generando una buena producción (Sato *et al.*, 2007).

a) Raíz.

Es el órgano que proporciona alimento a la planta y sirve para la absorción de agua y nutrientes, posee raíces pivotantes, axiales, laterales y raicillas (Arcila, 2007).

Según Alulima (2012), quien estudió la distribución de raíces del cafeto en un suelo de El Salvador, encontró que la raíz principal de plantas de un año no profundiza más de 20 cm, en plantas de dos años llega hasta los 30 cm y en cafetos de 7 años profundiza hasta 50 cm.

b) Hojas.

Son órganos en los cuales se realizan los tres procesos fisiológicos importantes que soportan el crecimiento y desarrollo vegetativo y reproductivo, éstos son: la fotosíntesis, la respiración y la transpiración (Arcila Pulgarín, 2007).

Las hojas del cafeto generalmente poseen una forma elíptica o lanceolada, la lámina foliar generalmente mide de 12 a 24 cm de longitud con un ancho de 5 a 12 cm, aspecto importante para el proceso de fotosíntesis y formación de azucares distribuidas por toda la planta.

c) Tallo.

El café presenta tallos múltiples, el cafeto adulto presenta en la parte inferior un tronco en forma cilíndrica y la superior o ápice tiende a ser cuadrangular con esquinas redondas y salientes (INIAP, 1993).

d) Flores.

Son órganos que se forman en las axilas de las hojas sobre los tallos llamados glomérulos generalmente se encuentran de 3 – 5 glomérulos en la base de cada hoja. La flor del café está formada por cáliz, corola, estambres y pistilo (INIAP, 1993).

e) Fruto.

Desarrollada la fecundación de las flores empieza la aparición del zigoto, durante las primeras semanas, el fruto crece lentamente hasta alcanzar su tamaño definitivo. Este fruto es

una drupa elipsoidal y tiene la característica de caerse fácilmente después de haber alcanzado su madurez (INIAP, 1993).

2.11.2. Necesidades hídricas de los cultivos.

La necesidad de riego es la cantidad de agua que la planta necesita para poder desarrollarse adecuadamente, las plantas deben recuperar el agua que pierden por evapotranspiración de sus hojas y de la superficie del suelo.

a) Evapotranspiración potencial o de referencia (ETo).

La evapotranspiración de referencia (ETo), es la cantidad de agua evaporada de un terreno cubierto totalmente de un cultivo representativo que es pasto. La ETo se determina, entre otros, mediante el método de Penman-Monteith. Este permite comparar la evapotranspiración en distintos periodos del año y cultivos, proceso que es realizado en el software Cropwat, que toma en cuenta varios datos meteorológicos, como la radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento, temperatura máxima y mínima y precipitación (Alvaro, 2006).

- **Métodos para determinar la evapotranspiración potencial**

Para determinar la evapotranspiración de referencia según la FAO (2006), existen métodos teóricos directos e indirectos:

Métodos teóricos: Son balance hídrico – balance energético.

Métodos directos: entre los más usados se encuentran los lisímetros y tanque evaporímetro, que consiste en determinar directamente el consumo total de agua requerida por el cultivo.

Métodos Indirectos: Son fórmulas empíricas que utilizan datos meteorológicos, según la FAO 2006, el método de Penman- Monteith, es el más confiable en este ámbito. Además, existen otros métodos como: Thornthwaite, Christiansen, Turc, Hansen Wilians.

b) Coeficiente de cultivo Kc.

El coeficiente de cultivo es un valor que depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la planta. Este valor varía según el tipo de planta, el ambiente en el cual se desarrolla y su periodo de crecimiento. El Kc también depende de la capacidad que tiene la planta para extraer agua del suelo, dependiendo de su estado de desarrollo

vegetativo (Valverde, 2007). Para el cultivo de café el coeficiente de cultivo se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10.*Valores de coeficiente de cultivo, para café de 0 a > 3 años, según su densidad de siembra.*

Edad (años)	Espaciamiento entre plantas	Valores de Kc
	a) >3,0 x 1,0 =2500 plantas/ha	1
Adulto	b) >3,0 x 1,0 =3333 plantas/ha	1,1
> 3 años	c) 2,0 a <3,0 x 1,0 =6666 plantas/ha	1,2
	d) 1,0 a <2,0 x 1,0 = 13333 plantas/ha	1,3
	a) >3,0 x 1,0 =2500 plantas/ha	0,8
Nuevo	b) >3,0 x 1,0 =3333 plantas/ha	0,9
1 a 3 años	c) 2,0 a <3,0 x 1,0 =6666 plantas/ha	1
	d) 1,0 a <2,0 x 1,0 = 13333 plantas/ha	1,1
	a) >3,0 x 1,0 =2500 plantas/ha	0,6
Nuevo	b) >3,0 x 1,0 =3333 plantas/ha	0,7
0 < 1 año	c) 2,0 a <3,0 x 1,0 =6666 plantas/ha	0,8
	d) 1,0 a <2,0 x 1,0 = 13333 plantas/ha	0,9

Fuente: Ramírez *et al*, (2010).

El coeficiente de cultivo varía dependiendo del tipo de cultivo y su etapa de desarrollo, se lo puede extraer desde tablas estándar, según la FAO (2006), está representado por 4 etapas: inicial, desarrollo, media y final.

c) Evapotranspiración del cultivo (ETc).

Según la FAO (2006), la evapotranspiración de una superficie cultivada puede ser medida a través de estudios de balance de agua en el suelo o por medio de lisímetros. Mediante métodos indirectos puede ser estimada con datos meteorológicos y del cultivo utilizando la ecuación de Penman-Monteith. La evapotranspiración del cultivo ETc se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ETo y el coeficiente del cultivo Kc:

$$ETc = Kc * ETo$$

d) Precipitación efectiva.

La precipitación efectiva es estimada en base a la precipitación media mensual; es decir, cuando la precipitación no ha se perdido por escorrentía ni por percolación, para su cálculo se ha desarrollado los siguientes métodos (Villalobos, Mateos, Orgaz, y Fereres, 2009):

Porcentaje fijo: Se calcula por la ecuación:

$$Pe = (1 - b)\ P$$

Donde:

b= es una fracción fija que representa las posibles pérdidas por percolación y escorrentía, normalmente oscilan entre el 10 y el 30 % de la precipitación.

$$0{,}10 < b < 0{,}30$$

Método de la FAO. La ecuación corresponde a un estudio realizado en zonas áridas y subhúmedas. Esta ecuación permite estimar la precipitación mensual que se excede en un 80 % de los años, dicha ecuación se emplea en diseños de sistemas de riego. Mediante las siguientes ecuaciones matemáticas se estima:

$$Pe = 0{,}6\ P - 10 \qquad \text{si } P < 70 \text{ mm}$$

$$Pe = 0{,}8\ P - 24 \qquad \text{si } P > 70 \text{ mm}$$

Método de Bareau of Reclamation (BR) de los Estados Unidos: Se realiza mediante las siguientes ecuaciones.

$$Pe = P\ [(125 - 0.2P)/125] \qquad \text{si } P < 250 \text{ mm}$$

$$Pe = 125 + 0.1\ P \qquad \text{si } P > 250 \text{ mm}$$

2.11.3. Parámetros para el diseño agronómico de riego por aspersión.

Para la selección adecuada de los caudales de riego es de fundamental importancia seleccionar adecuadamente el caudal de los emisores, su distanciamiento, el alcance, tiempo de riego y la presión de trabajo que son muy importantes para el posterior dimensionamiento hidráulico. A continuación, se explica el proceso de cálculo agronómico según Valarezo (2013).

a) Lámina de agua aprovechable (LAA).

La disponibilidad total de agua para la planta es una característica del suelo y corresponde a la cantidad de agua que el suelo puede almacenar por un determinado tiempo. Se puede expresar en lámina de agua por profundidad del suelo, generalmente mm de agua por m de profundidad del suelo (Calvache, 2012).

"La lámina neta corresponde a una altura de agua que es capaz de almacenar un suelo de cierta profundidad; así un suelo arcilloso tiene una mayor capacidad de estanque que un suelo arenoso". (Schulbach, 1999, p.4). Es la cantidad de agua que la planta puede aprovechar del suelo, que se encuentra retenida entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

$$\mathbf{Ln = p\,(CC - PMP) * Da\ * P.ef}$$

Donde:

Ln= lámina neta de riego (mm/día).

p= porcentaje de agotamiento (%).

CC= capacidad de campo (%).

PMP= punto de marchitez permanente (%).

Da= Densidad aparente (g/cc).

P.ef=profundidad efectiva (mm).

b) Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA).

Para el cálculo de la lámina rápidamente aprovechable, se toma en cuenta el umbral de riego de la humedad disponible, se refiere a la humedad que se agota en el suelo o al aprovechamiento de agua por parte del cultivo, hasta que se aplique el próximo riego (Valverde, 2007).

$$LARA = Ln * UR$$

Donde:

LARA= Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm/dia).

Ln= lámina neta de riego (mm/día).

UR= Umbral de riego (decimal).

c) Tiempo de riego (Tr).

Es el tiempo que se requiere para completar la lámina total de agua se infiltre en el terreno; es decir:

Tr= lamina neta/VIb

d) Frecuencia de riego.

Es la aplicación de agua a un cultivo que permite estimar el número de días transcurridos entre dos riegos, de acuerdo a las necesidades hídricas de cada cultivo (Schulbach, 1999). Se puede estimar de la siguiente forma:

Fr=LARA/Nr (días).

Donde:

Fr= Frecuencia de riego (días).

LARA= lámina de agua rápidamente aprovechable (mm/día).

Nr= (Etc – P.efec) necesidad de riego (mm/día).

Para el cálculo de las necesidades de riego, se debe considerar el valor máximo de la evapotranspiración.

e) Lámina total de riego o bruta.

Para el cálculo de la lámina bruta se debe tomar en cuenta que en los distintos métodos de riego existirán pérdidas de agua, desde la derivación y conducción hasta el nivel de la parcela, por ello, la lámina bruta es igual a la relación entre la lámina neta y la eficiencia del tipo de sistema de riego (Valverde, 2007).

Lb= LARA/ Ea

Donde:

Lb= lámina total de riego o bruta (mm).

LARA= lámina de agua rápidamente aprovechable (mm/día).

Ea= Eficiencia del sistema (decimales).

f) Selección del aspersor.

Primeramente, se asumen valores de espaciamiento entre aspersores (Ea) y entre laterales (El) y se calcula el caudal máximo del aspersor mediante la siguiente ecuación:

$$Qasp.\ máx. = VIB \times Sa \times Sl$$

Donde:

Qasp. máx.= Caudal máximo del aspersor (m3/h).

VIB= Velocidad de infiltración básica (mm/h).

Sa=Espaciamiento entre aspersores (m).

Sl= Espaciamiento entre laterales (m).

El valor del caudal máximo nos permite escoger en el catálogo del fabricante el caudal igual o menor al calculado, donde se conocerá también el diámetro húmedo y el diámetro de la boquilla.

Además, del caudal escogido, se debe tomar en cuenta la existencia del traslape, tomando correcciones de viento con el fin de garantizar una buena uniformidad de riego; si este proceso no se cumple se procederá a tomar nuevos valores de espaciamientos de Sa y Sl repitiendo el proceso cuantas veces sea necesario.

g) Intensidad de precipitación (Ip).

Si la Ip es superior a la velocidad de infiltración básica de la superficie donde cae, habrá un volumen sobrante de agua que escurrirá sobre la misma y causará daños por escorrentía (FAO, 2013).

La intensidad de precipitación está afectada por el diámetro de las boquillas y la presión de trabajo del aspersor, se debe reducir la intensidad de precipitación por la pendiente del terreno. Se determina de la siguiente manera:

$$Ip = qa / (Sa \times Sl)$$

Donde:

Ip= Intensidad de precipitación (mm/h).

qa= descarga del aspersor (l/h).

Sa=Espaciamiento entre aspersores (m).

Sl= Espaciamiento entre laterales (m).

2.12. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico comprende el dimensionamiento de toda la red hidráulica, para ello se calculan las pérdidas de carga en las tuberías, dependiendo de la longitud y diámetro de la tubería y por consecuente aumentará o reducirá la velocidad del agua dentro de la tubería (Chucya, 2008).

2.12.1. Pérdidas de carga en tuberías.

Como menciona Valarezo (2013), las pérdidas de carga son la disminución de la presión en el interior de las tuberías causada por el movimiento del fluido, debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí (viscosidad) y en contra de las paredes de la tubería (rugosidad). Para conocer estos valores es necesario conocer de las dimensiones de las tuberías por las que circula el fluido y si es necesario las características de la bomba, que sirve para mantener en movimiento el fluido. Existen dos clases de pérdidas de carga:

1. Pérdidas de carga lineal.
2. Pérdidas de carga singulares.

a) Pérdidas de carga lineal.

Las pérdidas lineales se producen a lo largo de toda la línea de conducción, estas se calculan por la ecuación de Hazen Williams (Valarezo, 2013).

Teniendo en cuenta que:

A mayor diámetro interno de la tubería, menor pérdida de carga.
A mayor caudal, mayor es la pérdida de carga para un mismo diámetro.
A mayor largo de la tubería mayor es la pérdida de carga para un mismo diámetro.

Fórmula de Hazen Williams.

Esta ecuación es la más utilizada para el cálculo de pérdidas de fricción en laterales y en líneas principales de diversos tipos de material:

$$J= 1.21 * 10^{10} *(Q/C)^{1.852} *D^{-4.87}$$

Donde:

J= Pérdidas de carga por fricción (m/m).

Q= Caudal (l/s).

C= Coeficiente de fricción.

D=Diámetro interior de la tubería (mm).

El coeficiente de fricción (C) están dados por el tipo de material presentes en la Tabla 11.

Tabla 11*.Valores del coeficiente de fricción C.*

Material de la tubería	Coeficiente de fricción
Plástico PVC	150
Fibrocemento	140
Aluminio	130
Acero galvanizado	130
Hormigón	128
Acero nuevo	120
Acero usado	110

Fuente: Valarezo, (2013).

b) Pérdidas singulares.

Además de las pérdidas de carga por fricción existen otros tipos de pérdidas que se originan en puntos singulares de las tuberías, como cambios de dirección, codos, válvulas, tees, etc. Estas pérdidas se deben a fenómenos de turbulencias. Las pérdidas localizadas, más las pérdidas de rozamiento, dan las pérdidas de carga totales (Valarezo, 2013).

En diseños de riego por aspersión es común incrementar en un 10 – 20 % la longitud total de la tubería, debido a pérdidas singulares.

Así mismo, se asumen en un 5 % de las pérdidas longitudinales totales como equivalentes de las pérdidas de carga localizadas.

2.12.2. Diseño de tubería lateral.

Los laterales son las tuberías que distribuyen el agua a las plantas por medio de los emisores acoplados a ellas. La aportación de agua por los emisores deberá ser lo más uniforme posible, es decir, todos los emisores deberán aplicar aproximadamente la misma cantidad de agua. Es por ello que para realizar un buen diseño se debe considerar sus pérdidas admisibles:

a) Lateral horizontal:

Pérdida admisible máxima= 20 %* (Ps).

No se debe pasar del 20 % de la presión de trabajo del aspersor (Ps). Esta es una condición para el diseño de riego.

b) Lateral colocado de manera ascendente:

Pérdida admisible máxima= 20 %* (Ps) - ΔZ

c) Lateral colocado de manera descendente:

Pérdida admisible máxima= 20 %* (Ps) + ΔZ

Donde:

Ps= presión de trabajo del aspersor (bar).

ΔZ= Diferencia de altura (m).

d) Coeficiente de reducción de Christiansen (F).

Para calcular las pérdidas por fricción en tuberías de salidas múltiples (Hf) se aplica el coeficiente de reducción F, basado en el número de salidas. Debido a que, en el lateral el caudal disminuye y es necesario corregir por ese factor.

$$F = \frac{n\left[\frac{1}{(B+1)} + \frac{1}{2n} + \left[\frac{1}{(B+1)} + \frac{(B-1)^{0,5}}{6n^2}\right] - 1\right]}{n-1}$$

Donde:

n=Número de salidas.

B= 1,8 –PVC; 1,9 –Aluminio.

2.12.3. Diseño de la tubería secundaria.

La longitud de la tubería secundaria dependerá de las dimensiones del terreno, el caudal máximo (depende del caudal de cada lateral) y del número de laterales que funcionen continuamente. Es por ello que la variación de la presión en la tubería secundaria no debe superar el 15 % de la presión de operación del aspersor (Valarezo, 2013)

$$\Delta \boldsymbol{H} = \boldsymbol{hf} \pm \Delta \boldsymbol{Z} \leq \mathbf{0,15}\ \boldsymbol{Pa}$$

Donde:

$\Delta H =$ Variación máxima de presión en el secundario (m.c.a).

$hf =$ Pérdidas por fricción (m).

ΔZ=Diferencia de nivel entre los extremos de la tubería (m).

Pa= Presión de operación de los aspersores (bar).

2.12.4. Diseño de la tubería principal.

Según Valarezo (2013), el diseño de la tubería principal considera no tener pérdidas superiores al 15 % de la presión de operación del aspersor en la tubería principal. Teniendo en cuenta que en esta tubería se anula el coeficiente F de salidas múltiples.

2.13. Programación de riego

Es una técnica que permite determinar la cantidad de riego óptimo para aplicar a los cultivos, esto se deriva las preguntas más frecuentes a la hora de programar el riego, que son la frecuencia de riego, que es ¿Cuándo regar? y el tiempo de riego ¿Cuánto regar? (Ortega y Acevedo, 1999).

Las programaciones de riego son primordiales para ahorrar agua, lograr el máximo beneficio económico, minimizar estrés hídrico y suministrar agua a los cultivos de forma eficiente para su crecimiento óptimo, en base a las interacciones del suelo, cultivo, clima y manejo agronómico (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, 2017).

2.13.1. Métodos para la programación del riego.

Los métodos más utilizados para la programación de riego, se basan en la medición y monitoreo del suelo o las plantas, también en variables de estrés hídrico del cultivo y el balance de humedad en el suelo (Servín *et al*., 2012). Los métodos de programación riego se dividen en 3 grupos: (Yague y Legaspi, 1999):

- Métodos basados en medir el estado hídrico de la planta, en forma directa (cámara de tensión xilemática) o en forma indirecta (termómetro de infrarrojo).
- Métodos basados en medir el estado hídrico del suelo, mediante diversos instrumentos: tensiómetros, bloques de yeso, sonda de neutrones.
- Métodos basados en la valoración del balance hídrico del conjunto suelo- planta – atmosfera.

a) Medición del estado hídrico de la planta.

La medición del estado hídrico de la planta es un método que permite determinar con mayor precisión el momento exacto del riego, se basa en medir la tensión del agua en los vasos conductores de las plantas (medición directa), o la temperatura del cultivo (medición indirecta) (Yague y Legaspi, 1999).

b) Medición del estado hídrico del suelo.

Para medir el estado hídrico del suelo se realiza mediante 2 técnicas:

La primera por el método gravimétrico, que consiste en determinar el agua almacenada en el suelo, que puede ser utilizada por la planta, esta se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, la llamada agua disponible para la planta (Luna, 2017).

El segundo por medición del potencial del agua en el suelo; este se realiza con tensiómetros y resistencia eléctrica (Calvache, 2012).

c) Valoración del balance hídrico.

El balance hídrico del suelo se realiza de acuerdo al agua almacenada en el suelo, en una fecha determinada, tomando en consideración las aportaciones y extracciones, así también las fechas que se producen, con ello se puede calcular la fecha del próximo riego (Yague y Legaspi, 1999).

El balance del agua en el suelo es igual a la variación del contenido de humedad en términos de masa (ΔΘm), cuando las entradas exceden las salidas, la variación del contenido de agua es positiva y cuando esta no excede es negativa, necesitando incrementar el riego, se representa mediante la siguiente ecuación: (Servín, *et al*., 2012).

$$\Delta\Theta m = Entradas - salidas$$

Las entradas de agua son la precipitación efectiva (Pe) y el riego (R).

$$Entradas = Pe + R$$

Las salidas de agua son los procesos de escorrentía (E), drenaje (D) y la evapotranspiración (Et).

$$Salidas = E + D + ET$$

d) Calendarios de riego.

Los calendarios de riego son importantes porque se precisa el momento del riego y por tanto la cantidad de agua que se aplica en cada uno de ellos. Para realizar la programación y el calendario de riego se hace a partir de la determinación de la duración del turno de riego, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$T = ((qe \times Af)/Qf) * I$$

Donde:

qe= caudal especifico o dosis de riego(l/s/ha).

Af= área de la finca (ha).

Qf= caudal que recibe la finca (acometida) (l/s).

T= duración del turno (días).

I= intervalo entre dos entregas o riegos (días).

3. Materiales y métodos

En el presente capítulo se redacta los métodos, procedimientos y técnicas utilizados para la realización del trabajado de investigación, así también los diferentes materiales utilizados.

3.2. Descripción del área de estudio

El trabajo se realizó en la finca del Señor Eduardo Zhingre, ubicado en el barrio "La Era", parroquia El Tambo, perteneciente al cantón Catamayo; cuyas coordenadas UTM son 689719 E y 9543602 N, Datum WGS 84; y, tiene una altitud de 1637 m.s.n.m; posee un clima subtropical seco, su temperatura varía entre de 14 a 21 °C; además se caracteriza por tener un relieve montañoso. El barrio La Era cuenta con 209 habitantes; y, la finca se encuentra a 40 minutos desde la cabecera parroquial El Tambo y a una hora de la ciudad de Catamayo (PDOT de El Tambo 2014–2019).

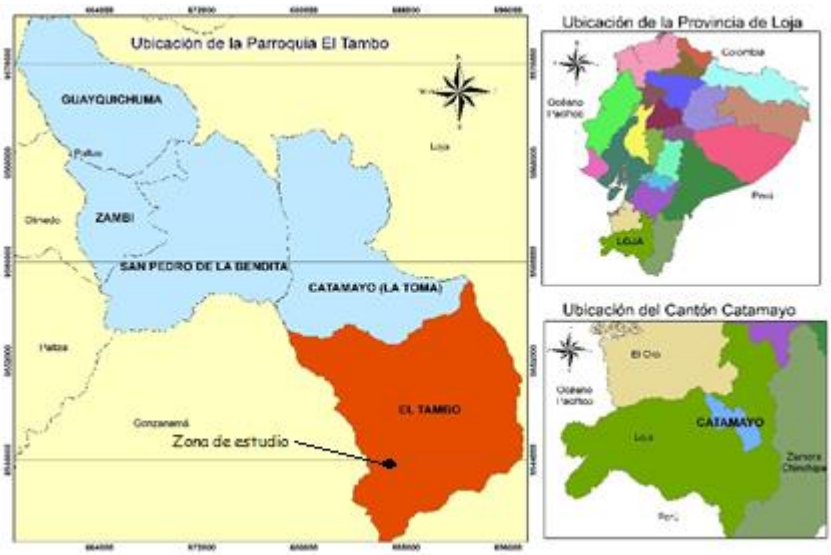


Figura 7. *Ubicación geográfica de la zona de estudio.*

La parroquia El Tambo se encuentra ubicado al sur-este del cantón Catamayo (Figura 7) y sus límites son:

- Norte con la parroquia Catamayo.
- Sur y este con el cantón Loja.
- Oeste con el cantón Gonzanamá.

3.3. Materiales y equipos

- Estación total
- GPS
- Cilindros de Koppecky de 100 cc.
- Barreno
- Muestras de suelo
- Estufa
- Balanza analítica
- Manómetro
- Cilindros infiltrómetros
- Computadora
- Ollas presión Richard
- Flexómetro
- Triangulo textural
- Recipiente de volumen conocido

3.4. Metodología para el primer objetivo

Caracterizar las propiedades hidrofísicas del suelo en el sistema de riego implementado.

3.4.1. Determinación de los parámetros hidrofísicos del suelo.

Se realizó la extracción de muestras de suelo en tres diferentes sectores de la finca.

Para realizar el análisis físico del suelo se recolectó 3 muestras de suelo, de 0 a 20 cm y de 20 a 30 cm de profundidad, con 3 repeticiones, debido a que la profundidad del café en los primeros 3 años no sobrepasa los 30 - 40 cm.

Para la obtención de las muestras de suelo se utilizó el cilindro de Koppecky de 100 cm^3 y se acopló a un barreno (Anexo 1), mismo que se fue introduciendo cuidadosamente al suelo para obtener muestras inalteradas, conservando su estructura. Posteriormente se trasladó al Laboratorio de Suelos de la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, para realizar el análisis correspondiente, de los siguientes parámetros:

- Textura.
- Densidad aparente (Da).
- Capacidad de campo (CC).
- Saturación (%).
- Punto de marchites permanente (PMP).

a) Textura del suelo.

Para el análisis de la textura se realizó mediante el método del Hidrómetro de Bouyoucos, que consiste en separar las partículas por sedimentación:

Primeramente, se seleccionó y peso una muestra de suelo de 50 gr, menor de 2 mm (previamente tamizada), se adicionó agua destilada y 10 ml de Hexametafosfato de sodio al 4%, que es la solución dispersante. Luego se colocó en el agitador mecánico durante 10 minutos y se transfiero la muestra agitada a una probeta, llenándola con agua destilada hasta 1000 ml y se dejó reposar (Anexo.3)

A los 30 minutos se tomó la primera lectura con el hidrómetro, al igual que su temperatura; así mismo, transcurrido 2 horas se realizó la segunda lectura de la suspensión con el hidrómetro al igual que la temperatura. Si la temperatura es mayor a 19,5 °C se realiza un proceso de corrección, sumando un factor de 0,36 por cada grado centígrado y si la temperatura es menor 19,5 °C se resta 0,36 por cada grado centígrado abajo. Con los datos obtenidos se remplaza en las siguientes formulas:

Arena => Ao(%) =100-(1era.Lectura x 2)
Arcilla => Ac(%) = 2da lec. Corregida x 2
Limo => Lo(%) =100-(%Ac + %Ao)

Estos datos son remplazados en el triángulo textural donde se determinó el tipo de textura del suelo (Anexo.3).

b) Densidad aparente (Da).

La densidad aparente se realizó mediante el método del anillo volumétrico, que consiste en lo siguiente:

Recolección de muestras de suelo inalteradas, mismas que son pesadas antes y después de ser colocadas en la estufa, a 105 °C por 48 horas. Los valores obtenidos son remplazados en la siguiente fórmula:

$$Da(g/cc) = \frac{Peso\ de\ la\ muestra\ seca\ a\ 105\ °C\ (g)}{Volumen\ del\ cilindro\ muestreador\ (cc)}$$

c) Saturación.

Se obtuvo al saturar con agua la muestra obtenida en campo durante 48 horas, después de ello se procedió a secar la muestra a 105 °C, esta diferencia representa el porcentaje de saturación en el suelo.

d) Capacidad de campo.

La capacidad de campo (CC) se obtuvo en el laboratorio con la cámara de presión, a una tensión de 1/10 atm y a 1/3 atm (Anexo 2). Según Calvache (2012), se utiliza datos de una succión a 1/10 bar para suelos arenosos y 1/3 bares para suelos arcillosos. Para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$Cc = ((Psh-Pss)/Pss) * 100 * Da$$

Donde:

Cc = capacidad de campo (%).

Da = Densidad aparente (g/cc)

Psh = peso de la muestra de suelo húmedo (g), a 1/10 – 1/3 bares.

Pss = peso de la muestra de suelo seco (g), a 105°C.

e) Punto de marchitez permanente.

Para el punto de marchitez permanente (PMP) se obtuvo al igual que la CC, pero a una succión de 15 atm utilizando la siguiente ecuación:

$$Pmp = ((Psh-Pss)/Pss) * 100 * Da$$

Donde:

Pmp = punto de marchitez permanente (%).

Da = Densidad aparente (g/cc)

Psh = peso de la muestra de suelo húmedo (g), a 15 atm.

Pss = peso de la muestra de suelo seco (g), a 105°C.

f) Curva de retención de humedad.

Con los datos obtenidos se construyó la curva de retención de humedad, y a través de ella se determinó la capacidad de aireación (CA), espacio poroso drenable, el volumen de poros físicamente inerte (VFI) y el agua aprovechable (AA). Estos parámetros se calcularon con las siguientes fórmulas matemáticas:

$$AA\%=CC-PMP$$

$$CA\ \%=Sat-\ CC$$

$$VFI\ \%=100-(Vs+vp\%inutil)$$

Donde:

AA=Agua aprovechable (%).

CA=Capacidad de Aireación (%).

VFI= Volumen físicamente inerte (%).

Sat= Saturación (%).

CC=Capacidad de campo (%).

PMP= Punto de marchitez permanente (%).

Vs= Volumen de sólidos (%).

Vp%inutil= volumen de poros inútil (%).

3.4.2. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.

Para la evaluación de las condiciones físicas del suelo se utilizó el diagrama triangular, expuesto en la Figura 4. En el triángulo se intersectan los porcentajes de agua aprovechable (AA), capacidad de aireación (CA) y volumen de poros físicamente Inerte (VFI), para determinar la zona y clase de suelo (Anexo.4). Por medio de este procedimiento se puede clasificar en 5 zonas y 5 clases:

- **Zona I**, corresponde a una situación muy pobre de las condiciones físicas del suelo para las plantas.
- Las **zonas II, III y IV** corresponden a las condiciones pobre, medio y bueno, quiere decir que estas condiciones pueden ser mejoradas, pero sin embargo no son aptas para un buen crecimiento de las plantas.
- **La zona V** representa una condición muy buena para las plantas, pues existe una buena combinación de la disponibilidad de agua y aire.

3.4.3. Velocidad de infiltración básica.

Previo a realizar la prueba de la velocidad de infiltración básica se identificó un sitio representativo en las áreas de riego de la finca del señor Eduardo Zhingre.

La prueba se realizó mediante el método de doble anillo, uno exterior y otro interior. El anillo exterior tiene un diámetro de 25 cm y mientras el interior es de 12 cm; los cuales son introducidos en el suelo a 10 cm de profundidad que deben estar nivelados. Los anillos son llenados de agua hasta 10 cm, el anillo exterior tiene como función evitar la infiltración horizontal del agua por debajo del cilindro interior, de tal forma que las medidas se correspondan con seguridad al flujo vertical. Seguidamente se tomaron lecturas del anillo interno durante 4 horas en intervalos de 5, 10, 15 y 20 minutos, hasta que el descenso del agua se estabilizó. (Anexo 5).

Para asegurar que los datos sean fiables se procedió a ejecutar 3 repeticiones en diferentes lugares del área de estudio. Para tabular y calcular la velocidad de infiltración básica se utilizó las ecuaciones de Kostiakov:

$$VI\ inst = k * n * Tb^{n-1}$$

$$Tb=10\ (1-n)$$

$$Icum = k * T^{n}$$

$$VIB= k * (-600*n)^{n}$$

Donde:

VI inst= Velocidad de Infiltración Instantánea (cm/min).

k y n= Parámetros que dependen del suelo y de su condición física (adimensional).

Tb = Tiempo básico (min).

Icum= Lámina de agua infiltrada acumulada, en mm.

VIB= Velocidad de infiltración básica (mm/h).

Con los datos obtenidos en campo se obtuvo la velocidad de infiltración y además se calculó el valor de k y n mediante el método gráfico en papel de doble logaritmo (Anexo 6).

a) Fortalezas

- La velocidad de infiltración o cantidad del agua que entra al suelo en un determinado tiempo permite, a través de un modelo matemático, llegar a predecir el tiempo de riego que se necesita para reponer una cantidad de agua en el suelo y satisfacer las necesidades hídricas del cultivo.
- Texturas más gruesas, la infiltración será más rápida y texturas más finas tendrán infiltración más lenta.
- El laboreo del suelo con implementos, facilita la infiltración.
- La materia orgánica mantiene la porosidad del suelo durante períodos largos, permitiendo que la velocidad de infiltración no se altere y, así mismo aumente

b) Debilidades

- Las araduras permanentes pueden producir una compactación y formación de una capa impermeable denominada “pie de arado”, que afecta negativamente la infiltración.
- Las sales que puede contener el agua de riego se van acumulando en el perfil del suelo; algunas pueden ser benéficas al cultivo, sin embargo, hay otras como el sodio que altera la estructura del suelo y tiene un efecto negativo sobre la infiltración.
- En algunos lugares las partículas de limo y arcilla que se mantienen en suspensión en el agua de riego, provocan un encostramiento el cual disminuye en forma notoria la infiltración del agua.

3.5. Metodología para el segundo objetivo

En el proceso de evaluación del diseño de riego por aspersión en la finca del señor Eduardo Zhingre se contempló el agronómico e hidráulico, mediante el siguiente procedimiento:

3.5.1. Evaluación del diseño agronómico.

El diseño agronómico consistió en determinar datos de la parcela como:

- **La superficie regada:** se determinó mediante el levantamiento topográfico de la zona de estudio.
- **Ubicación de la fuente de agua:** se determinó la distancia de fuente de agua, al cultivo de riego para posteriormente calcular pérdidas o ganancias de presión en las tuberías de riego.
- **Frecuencia de riego:** se procedió a realizar empíricamente debido a que, se preguntó al agricultor los días que se realiza el riego, es decir cada cuantos días se riega el cultivo de café.
- **Marco de riego:** se midió el marco de riego al momento de cambio de ubicación del aspersor, debido a que la forma de riego es móvil con ello se determinó la distancia entre aspersores al momento de regar.
- **Diámetro húmedo:** se definió al momento en que el aspersor está en funcionamiento, midiendo el diámetro que riega el aspersor.
- **Tiempo de riego:** se consideró en el día cuantas horas se riega en la parcela, información proporcionada por el beneficiario.

a) Fortalezas

- El predio consta con un canal de riego abastecido, facilitando la toma de agua al momento del riego.
- Para realizar la topografía del lugar no hubo interferencias de señales o árboles que impidan el mismo.

b) Debilidades

- El sistema de riego implementado no cuenta con un estudio de suelos previo para la implementación del sistema de riego.
- El marco de riego utilizado, no cubre la superficie de riego adecuada, impidiendo el correcto traslape entre aspersores.

3.5.2. Evaluación del diseño hidráulico.

Para la evaluación del diseño hidráulico se tomaron en cuenta varios aspectos preliminares como características hidráulicas del sistema, caudal y presión de trabajo del aspersor, presión de trabajo de las tuberías, y el marco de riego. Además, se evaluó la uniformidad del riego, mediante la determinación del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC).

a) Características hidráulicas.

Se revisó y analizo el estado actual de las tuberías de la conducción principal, la longitud, diámetro interno y externo, caudal y presión de trabajo, tomando en cuenta:

- El estado de los diferentes componentes de la instalación y si el manejo del mismo es el adecuado.
- La calidad de las tuberías.
- Presión de trabajo de los aspersores (Anexo10).

b) Determinación del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC).

La evaluación del sistema de riego se realizó mediante el método del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), para lo cual se efectuaron las siguientes actividades:

- Se procedió a seleccionar el lugar representativo para realizar la prueba de uniformidad. Esta prueba fue realizada con un solo emisor que suministra el agua a la parcela, con un marco de riego de 20 x 20 metros y un diámetro húmedo de 24 metros.
- Se colocó pluviómetros cada 2 metros de distancia alrededor del aspersor para posteriormente recolectar la lámina de riego (Anexo 11).
- Se determinó las características del aspersor, presión de trabajo, caudal y diámetro húmedo; y, se constató con la información que consta en el catálogo del fabricante.
- Se realizó la prueba de uniformidad con el aspersor en funcionamiento por una hora; y, concluido se procedió a medir el volumen de agua recolectado en cada una de los pluviómetros.
- Con los datos obtenidos se tabuló y se determinó el coeficiente de uniformidad, mediante la siguiente formula:

$$\boldsymbol{CUC = \left(1 - \frac{\sum(x - \bar{x}_1)}{n * \bar{x}}\right) * 100}$$

Donde:

CUC = Coeficiente de Uniformidad

$\bar{x}$= Promedio de caudales registrados (cm3).

$(x - \bar{x}_1)$ = Valor absoluto. De la desviación de las observaciones individuales con respecto al promedio de caudales registrados.

n =Número de observaciones.

Con la información que se obtenga se determina si existen o no inconvenientes en el diseño agronómico e hidráulico. En caso de haberlo se procede a realizar el rediseño del sistema de riego por aspersión, mediante el siguiente procedimiento.

Fortalezas.

- El coeficiente de uniformidad del riego, es un parámetro importante para definir si el sistema no se estaría regando adecuadamente y realizar algún reajuste si fuera necesario.
- Con los datos obtenidos se pueden realizar modificaciones en el predio con el fin de mejorar las condiciones de la finca.

Debilidad.

- En el riego por aspersión representa una eficiencia de riego del 75 % perdiendo aproximadamente un 25 % del agua para el riego y con la mala distribución de la red hidráulica puede ser más afectada.

3.5.3. Rediseño del sistema de riego.

El rediseño del sistema de riego se realizó, en la parte agronómica e hidráulica con los siguientes parámetros técnicos, para posteriormente calcular las pérdidas de carga en las tuberías así mismo la velocidad del agua dentro de las tuberías que debe mantenerse entre el rango de 0,5 a 2,5 m/s.

3.5.3.1. Diseño agronómico.

Para la elaboración del diseño agronómico, se tomó en consideración; las necesidades hídricas del cultivo, se calculó la lámina de agua aprovechable y rápidamente aprovechable, frecuencia de riego, lámina bruta, tiempo de riego; tipo de aspersor, intensidad de precipitación, número de aspersores, espacio entre aspersores y laterales. Para ello se realizaron las siguientes actividades:

a) Levantamiento topográfico de la superficie a regarse.

El levantamiento de la finca se realizó con el receptor GPS, con proyección UTM, mediante el sistema geodésico mundial (WGS 84) de la zona 17 sur. Así mismo para la toma de datos

se escogió el lugar despejado, libres árboles o algún otro obstáculo, que impida recibir la señal de satélites localizados por el GPS (Anexo 8).

Los datos geográficos obtenidos en coordenadas UTM, se exportaron al procesador del software de AutoCAD CIVIL 2015 y se realizó la planimetría, con curvas de nivel cada 2 metros, para mayor aproximación del relieve y así mismo para su posterior diseño; esto permitió determinar el área, las ubicaciones y distribución de las tomas de agua, el emplazamiento de las tuberías principal y secundaria; la densidad de siembra del cultivo de café, entre los principales aspectos.

b) Fuente de agua y aforo.

La fuente de agua que provee a la finca del señor Eduardo Zhingre, es el canal de riego La Era; cuyo aforo se realizó mediante dos procesos: el primero fue realizado al canal de riego mediante el método del flotador; que consistió en colocar un objeto flotante en un tramo conocido del canal, midiendo el tiempo trascurrido en varios intervalos. Para ello se usa la siguiente formula:

$$Q= Fc*A*V$$

Donde:

Q= Caudal (m^3/s).
V= velocidad (m/s).
A= Área (m^2).
Fc= Factor de corrección (Tabla 12).

***Tabla 12**. Determinación de Factor de Corrección Fc para cálculo de caudales por el método del Flotador.*

Tipo de cauce	Factor corrección FC
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15	0,8
Canal en tierra, profundidad del agua > 15	0,7
Riachuelos profundidad del agua > 15 cm	0,5
Canales de tierra profundidad dela agua < 15 cm	0,25 - 0,5

Fuente: (Arango, 2017).

El segundo, se efectuó la medición del caudal de la toma de agua (acometida), mediante el método volumétrico (Anexo 9); llenando un recipiente de volumen conocido en varios periodos de tiempo. La ecuación para la determinación del caudal es el siguiente:

Q= v/t

Donde:

Q= Caudal (m3/s)

v= Volumen (m3).

t = tiempo (s).

c) Necesidades hídricas del cultivo.

Las necesidades hídricas de los cultivos es la pérdida de agua en forma de vapor desde el suelo a través de la evaporación y la transpiración; durante un intervalo de tiempo, para calcular estos aspectos se detallan a continuación:

- **Evapotranspiración de referencia (Eto).**

Para determinar la evapotranspiración de referencia (Eto), se utilizó el método de la FAO Penman-Monteith, por medio del software Cropwat, utilizando promedios mensuales de parámetros climáticos de: temperaturas máxima y mínima, horas de insolación, velocidad del viento, radiación y la humedad relativa. El software hace referencia a la siguiente fórmula:

$$ETo = \frac{0.408\Delta(R_n) + y\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + y(1 + 0.34u_2)}$$

Donde:

Eto= evapotranspiración de referencia (mm dia-1)

Rn=radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m-2 día-1)

T= temperatura del aire a 2 m de altura (°C)

u2= La velocidad del viento a 2 m de altura (ms-1)

es= La presión de vapor de saturación (KPa)

ea=presión real de vapor (KPa)

Δ= pendiente de la curva de presión de vapor (KPa°C^{-1})

Dicha ecuación es la base de cálculo para la estimación de evapotranspiración de referencia, en el software Cropwat.

La información climática se obtuvo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), de las estaciones de Catamayo, Nambacola y Malacatos (Anexo 7), durante un periodo de 20 años (1995- 2015). Los datos fueron interpolados en el software ArGis.

- **Determinación del gradiente altitudinal.**

Para los parámetros de temperatura se utilizó el método de corrección por gradiente altitudinal, consistiendo en corregir la temperatura máxima y mínima de las tres estaciones mencionadas anteriormente con respecto a la altura de la zona de estudio:

$$T_{Det} = T_{mensual} + (r(Z_{Det} - Z_{estación}))$$

T Det= Temperatura determinada (°C).

T mensual= Temperatura mensual (°C).

r= Correlación entre la altura y temperatura

Z Det= Altura determinada (zona de estudio).

Z estación= Altura de la estación (m.s.n.m).

Los datos obtenidos por medio de este proceso, se los interpoló en el software ArGis, obteniendo un raster que es multiplicado con un modelo digital de elevación (DEM), obteniendo datos más precisos del lugar de estudio.

- **Coeficiente de cultivo (Kc).**

El (Kc) del cultivo de café varía según su edad de desarrollo, por consecuencia se tomó como referencia la Tabla 10, en la cual se presentan datos de coeficiente dependiendo de la cantidad de años y la densidad de siembra.

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

Para conocer la evapotranspiración del cultivo de café, se empleó el método propuesto por la FAO, que es la relación existente entre la evapotranspiración de referencia por el coeficiente de cultivo.

ETc = ETo x Kc

Donde:

ETc= Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

ETo= Evapotranspiración de referencia (mm/día).

Kc= Coeficiente de cultivo (adimensional).

- **Precipitación efectiva (Pe).**

Se empleó las siguientes ecuaciones para precipitaciones mayores y menores a 75 mm/mes.

Pe = (0,8P - 25) Si P> 75 mm/mes

Pe =(0,6P - 10) Si P<75 mm/mes.

- **Necesidad de riego(Nr).**

Para el cálculo de la necesidad de riego, se restó de la demanda hídrica del cultivo de café (ETc) y la precipitación efectiva (Pe):

$$Nr = Etc - Pe$$

Donde:

Nr= Necesidad neta de riego (mm/día).

Etc= evapotranspiración de cultivo (mm/día).

Pe= precipitación efectiva (mm/día).

3.5.3.2. Parámetros para el diseño agronómico de riego por aspersión.

A continuación, se presentan las fórmulas que se utilizaron para calcular las demandas hídricas para el cultivo de café:

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

Se realizó utilizando la siguiente expresión matemática:

$$\mathbf{LAA = p\,(CC - PMP) * Da * P.ef}$$

Donde:

LAA= lámina neta de riego (mm/día).

p= porcentaje de agotamiento (%).

CC= capacidad de campo (%).

PMP= punto de marchitez permanente (%).

Da= densidad aparente (g/cm^3).

P.ef=profundidad efectiva (mm).

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

$$\textbf{LARA} = \mathrm{LAA} * \mathrm{UR}$$

Donde:

LARA= lámina de agua rápidamente aprovechable (mm/día).

LAA= lámina de agua aprovechable (mm/día).

UR= umbral de riego a (50%).

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

La frecuencia de riego se calculó empleando la siguiente formula:

$$\textbf{Fr} = \mathrm{LARA}/\mathrm{Nr}\ (\text{días}).$$

Donde:

Fr= frecuencia de riego (días).

LARA= lámina de agua rápidamente aprovechable (mm/día).

Nr= (Etc – P.efec) necesidad de riego (mm/día).

- **Corrección de la frecuencia de riego.**

Para un manejo práctico en los sistemas de riego se propone corregir la lámina de riego para 4 días.

- **Corrección de la lámina de riego.**

La corrección de la lámina de riego se realiza tomando en cuenta la frecuencia ajustada:

Lr. corregida= Necesidad máxima de riego*4 días

- **Lámina bruta de riego (Lb).**

Lb= Lr. corregida / Ea

Donde:

Lb= lámina bruta de riego (mm).

Lr. corregida= lámina de riego corregida (mm).

Ea= Eficiencia del sistema (decimales).

- **Selección del aspersor.**

Qasp. máx.= VIB x Sa x Sl

Donde:

Qasp. máx.= Caudal máximo del aspersor (m3/h).

VIB= Velocidad de infiltración básica (mm/h).

Sa=Espaciamiento entre aspersores (m).

Sl= Espaciamiento entre laterales (m).

- **Intensidad de precipitación (Ip).**

Ip= qa/ (Sa x Sl)

Donde:

Ip= intensidad de precipitación (mm/h).

qa= descarga del aspersor (l/h).

Sa=espaciamiento entre aspersores (m).

Sl= espaciamiento entre laterales (m).

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

$$\mathbf{Tr=} \; Lr / Ip$$

Donde:

Tr= Tiempo de riego (h/día).

Lr= Lámina total de riego (mm).

Ip= Intensidad de precipitación del aspersor (mm/h).

- **Número de aspersores por lateral.**

$$\mathbf{NAL=} \; LTL / Sa$$

Donde:

NAL= número de aspersores por lateral (u).

LTL= longitud del terreno en la dirección del lateral (m).

Sa= espaciamiento entre aspersores (m).

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

$$\mathbf{QL=} \; qa * NAL$$

Donde:

QL= Caudal del lateral (l/h).

qa= Caudal del aspersor (l/h).

NAL= Número de aspersores por lateral (u).

- **Número de posiciones de laterales en la secundaria (NPL).**

$$\mathbf{NPL}= (LTS / Sl) * n$$

Donde:

NPL= Número de posiciones de un lateral en el secundario.

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

Sl= Espaciamiento entre laterales (m).

n= Número de lados.

n= 1, cuando el lateral esta utilizado al mismo lado del principal.

n= 2, cuando el lateral esta utilizado a ambos lados del principal.

- **Caudal secundario (Qs).**

Qs= QL * NL

Donde:

QS= Caudal línea secundaria (m3/h).

QL= Caudal del lateral (m3/h).

NL=Número de laterales en operación.

3.5.3.3. Diseño hidráulico.

El diseño hidráulico consiste en determinar el dimensionamiento de todos los componentes de instalación de riego, para ello se tiene en consideración varias condiciones de diseño:

- En la tubería principal y secundaria: la pérdida admisible máxima no debe pasar del 15 % de la presión de trabajo del aspersor (Ps).
- En la tubería lateral: la pérdida admisible máxima no debe pasar del 20 % de la presión de trabajo del aspersor (Ps).
- La diferencia de presiones de los ramales entre el primer y último aspersor no debe sobrepasar del 20 % de la presión nominal del aspersor.

$$\frac{\boldsymbol{Pm}}{\boldsymbol{\gamma}} - \frac{\boldsymbol{Pn}}{\boldsymbol{\gamma}} \leq \mathbf{0,20}\ \boldsymbol{Pa}$$

Donde:

$\frac{\boldsymbol{Pm}}{\boldsymbol{\gamma}}$ = máxima presión del aspersor en un lateral (m).

$\frac{\boldsymbol{Pn}}{\boldsymbol{\gamma}}$ = mínima presión del aspersor en un lateral (m).

$\boldsymbol{Pa}$ = Presión de operación de los aspersores (m).

Para ello se calcularon las pérdidas de fricción en las tuberías mediante las siguientes ecuaciones:

hf= J x F x L

Donde:

hf= pérdida de carga en la tubería.

J= pérdidas de carga por fricción (m/m).

F= coeficiente de reducción de Christiansen (F).

L= longitud (m).

Pérdidas de carga por fricción (J).

$$\mathbf{J} = 1.21 * 10^{10} * (Q/C)^{1.852} * D^{-4.87}$$

Donde:

J= pérdidas de carga por fricción (m/m).

Q= Caudal (l/s).

C= Coeficiente de fricción.

D=Diámetro interior de la tubería (mm).

Coeficiente de reducción de Christiansen (F).

$$F = \frac{n\left[\frac{1}{(B+1)} + \frac{1}{2n} + \left[\frac{1}{(B+1)} + \frac{(B-1)^{0,5}}{6n^2}\right] - 1\right]}{n-1}$$

Donde:

F= Coeficiente de reducción de Christiansen.

n=Número de salidas.

B= 1,8 –PVC; 1,9 –Aluminio.

3.5.3.4. Cálculo de la motobomba

Para el cálculo de la potencia de la motobomba se consideró varios parámetros y fórmulas que a continuación se señalan:

- **Altura manométrica total o carga dinámica total (CDT):**

$$\mathbf{CDT} = Hgeo + Hasp + Pasp + Helev + hf + hfsucc + hfsec + hv$$

Donde:

Hgeom =Altura geométrica de impulsión (m).

Hasp= Altura de aspiración (m).

Pasp= Presión del aspersor (m).

H elev= Altura del elevador (m).

hf = Pérdidas por fricción en las tuberías (m).

hfsucc = Pérdidas por fricción en la tubería de succión (m).

hf sec = Pérdidas por fricción por accesorios (m).

hv= Pérdidas por velocidad (m).

- **Máxima ubicación de la motobomba sobre el espejo de agua (UB).**

Para calcular la altura máxima de ubicación de la bomba se utilizó las siguientes fórmulas:

$$UB = NPSHdis - NPSHreq$$

Donde:

UB= Ubicación de la motobomba (mca).

NPSHdis= Carga neta positiva de succión disponible (mca).

NPSHreq= Carga neta positiva de succión requerida (mca).

- **Carga neta positiva de succión disponible (NPSHdis):**

$$NPSHdis = P_{atm} - P_{vapor} - hf_{succ} - hf_{acces\ succ}$$

Donde:

NPSHdis= Carga neta positiva de succión disponible (m).

Patm = Presión atmosférica del sitio (mca).

Pvapor= Presión de vapor del agua (mca).

hfsucc = Pérdidas por fricción en la tubería de succión (mca).

hfacces suc = Pérdidas por fricción por accesorios en la tubería de succión (mca).

Patm = 10.3 −altitud de la zona de estudio /900.

- **Carga neta positiva de succión requerida NPSHreq**

NPSHreq= NPSHdis- altura proporcionada por el fabricante

- **Potencia requerida**

Finalmente, se calculó la potencia requerida.

$$\boldsymbol{PB(Hp)} = \frac{QB * CDT}{76 * n}$$

Donde:

PB= Potencia de la bomba (Hp)

QB= Caudal de diseño (l/s)

CDT= Carga dinámica total (m)

n = Eficiencia de la bomba (decimal)

Se realizó dos correcciones a la potencia obtenida; 1) para corregir la cantidad de oxígeno en la atmósfera (altitud); y, 2) para la aceleración correcta de la bomba.

$$P(HP) = PB(HP) * F \qquad P\ motor(HP) = P(HP)/Fc$$

Donde:

F= Factor de corrección de acuerdo a la altitud.

Fc= Factor para lograr la máxima vida útil del motor.

Pmotor= Potencia del motor (HP).

3.6. Metodología para el tercer objetivo

Para elaborar la programación de riego y facilitar un proceso adecuado, se realizó un calendario de riego el cual depende del turno de riego dado al agricultor. Para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$T= ((qe * Af) / Qf) * I$$

Donde:

qe= caudal especifico o dosis de riego(l/s/ha).

Af= área de la finca (ha).

Qf= caudal que recibe la finca (acometida) (l/s).

T= duración del turno (días).

I= intervalo entre dos entregas o riegos (días).

4. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la investigación realizada en el sistema de riego por aspersión de la finca del Sr. Eduardo Zhingre.

4.2. Resultados para el primer objetivo

Los resultados de este primer objetivo tienen relación con los parámetros hidrofísicos del suelo, la curva de retención de agua y su evaluación.

4.2.1. Textura.

Según el análisis de suelos, la textura determinada es franco arenoso, con un contenido de 12 % de arcilla, 26 % de limo, y un 61 % de arena. Según López (2005), menciona que los suelos donde predomina la arena, poseen un grado de aireación muy alto, y, muy escasa retención de agua (baja capacidad de campo), limitando el desarrollo de la vegetación en climas secos (Anexo 3).

Así también, Arcila (2007), menciona que los suelos que poseen textura franco arcillosas, limosa y arenosas, son buenas texturas para el óptimo desarrollo del cultivo de café.

Una fortaleza evidenciada en la textura del suelo de la finca motivo de estudio, es que se encuentra apta para el correcto desarrollo del cultivo de café.

4.2.2. Densidad aparente.

Se obtuvieron valores de densidad aparente de 1,71 g/cm^3. Según Valarezo. *et.al* (1998), constata estos valores de densidad aparente en suelos franco arenosos de 0,99 a 1,87 g/cc (Tabla 3). Salamanca y Sadeghian (2005), mencionan que a medida que disminuye el espacio poroso aumenta la densidad aparente.

López (2005), indica que valores altos de densidad aparente, serian ocasionados por una reducción del contenido de materia orgánica del suelo, y por la degradación de la estructura, siendo importante en estos suelos, el incremento de materia orgánica para mejorar la densidad aparente del suelo.

En base del resultado obtenido se debe adicionar materia orgánica para mejorar la estructura del suelo y por tanto baje la densidad aparente y ayude a la retención de humedad.

Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA, (2016), la materia orgánica tiene mucha importancia para obtener una alta productividad del cultivo de café, pues contribuye a mejorar las condiciones físicas del suelo, la conservación de la humedad y de la fertilidad del suelo.

4.2.3. Contenidos de humedad en el suelo.

Los resultados obtenidos del contenido de humedad en el suelo se indica en la Tabla 13.

Tabla 13. *Contenidos de humedad en el suelo en estudio en términos de volumen.*

Profundidad (cm)	**Saturación (%)**	**CC 1/10 atm (%)**	**CC 1/3 atm (%)**	**P.M.P 15 atm (%)**	**Volumen total de solidos (%)**	**Volumen total de poros (%)**	**Capacidad de aireación (CA)**	**Agua Aprovechable (AA)**	**Volumen Físicamente inerte (VFI)**
	pF 0	**pF 2**	**pF 2,52**	**pF 4,2**	**%**				
0- 20	**34,8**	**25,6**	**24,2**	**10,5**	**65,2**	**34,8**	**9,2**	**15,1**	**75,7**
20 – 40	15,8	13,7	12,3	7,6	84,2	15,8	2,1	6,1	91,9

Saturación o volumen total de poros: La saturación del suelo en estudio es del 34,80 %. Según Flores y Alcalá (2010), indican que, en suelos franco arenosos, la saturación debe encontrase entre un rango de 40 a 47 %, en estos suelos predominan los macroporos que ayudan a la retención de aire, pero sin embargo la retención de agua es baja.

Es así que el resultado obtenido es bajo en comparación a los estándares, por lo cual se considera que es un suelo con baja retención de humedad.

Capacidad de campo: La capacidad de campo obtenida a presión de 1/10 atm es de 25,63%. Según Valarezo *et.al* (1998), indica que para este tipo de suelo la CC estaría óptima desde un 15 a 27 %. El resultado obtenido es aceptable dentro de los niveles adecuados de capacidad de campo, sin embargo, la debilidad de este suelo es que la capacidad de retención de humedad es baja.

Punto de marchitez permanente: El punto de marchitez permanente es del 10,50 %. Según Valarezo *et.al* (1998) en suelos franco arenosos, el punto de marchitez permanente debe encontrase en un rango de 6 a 12 %, considerándose el valor obtenido como intermedio, apto para el buen desarrollo de los cultivos en este tipo de suelos.

Según Israelsen y Hansen, (1979), citado por Pérez y García (2015), el punto de marchitez permanente óptimo para este tipo de suelo es 9%, valor cercano para los resultados obtenidos.

4.2.4. Curva de retención de humedad.

De acuerdo a los datos obtenidos en la Tabla 13, se construyó la curva de retención de humedad, como se muestra en la Figura 8.

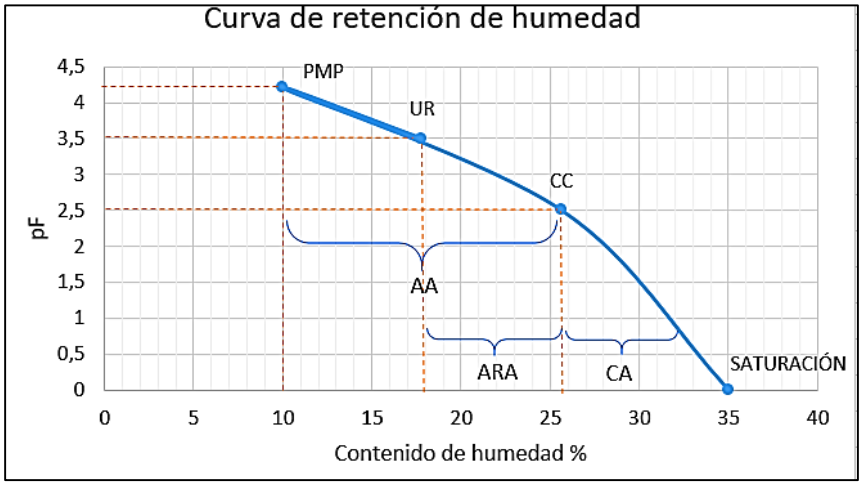


Figura 8. *Determinación de la curva de retención de agua en los suelos de estudio.*

El suelo en estudio presenta un porcentaje de agua aprovechable (AA) entre el 10 al 26 %, siendo el agua rápidamente (ARA) del 18 al 26 % y contando con una capacidad de aireación (CA) entre el 26 al 35 %.

Angella, Frías y Salgado (2016), indican que la disponibilidad de agua en el suelo determina la mayor o menor dificultad que tienen las raíces para absorberla, de acuerdo al potencial hídrico total. A medida que el suelo se seca, el potencial se hace más negativo (el agua está más retenida) y aumenta la dificultad de las raíces para absorber agua.

4.2.5. Evaluación de las condiciones física del suelo.

Según el diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo (Anexo 4), de la finca del Sr. Eduardo Zhingre, dio como resultado un suelo en zona II, correspondiente a clase pobre. Según Valarezo *et al* (1998), las combinaciones de aireación, agua aprovechable y volumen físicamente inerte, no son apropiadas para que el cultivo se desarrolle óptimamente.

Capacidad de aireación: La capacidad de aireación en el suelo de estudio es de 9,2 %. Valarezo e*t.al*, (1998), menciona que la aireación en los suelos de 10 – 15 % es satisfactoria para el buen desarrollo de las plantas. El resultado obtenido de capacidad de aireación, es bajo contrarrestando que el porcentaje de saturación también es bajo, este porcentaje puede mejorarse con la labranza, la rotación de cultivos y la incorporación de materia orgánica.

$$CA(\%)=Sat- CC$$

$$CA(\%)= 34,8 – 25,6$$

$$CA(\%)= 9,2 \%$$

Agua aprovechable: El agua aprovechable obtenida corresponde a un valor de 15,1 %, como menciona Valarezo *et.al* (1998), se encuentra en un rango alto (9-15), siendo beneficioso para el cultivo de café, pues mientras mayor sea el contenido de humedad aprovechable para la planta mejor será su rendimiento.

$$AA\%=CC-PMP$$

$$AA= 25,6-10,5$$

$$AA= 15,1 \%$$

Volumen de poros físicamente inerte: Este valor corresponde a 75,7 %, correspondiendo a un valor alto el volumen de poros físicamente inerte, son los poros menores a 0,2 micras, que no proveen de aire ni agua para la planta.

$$VFI=100-(Vtp-PMP)$$

$$VFI =100-(34,8-10,5)$$

$$VFI= 75,7 \%.$$

Según Silva *et al.*, (1998), un suelo pobre, carece de buena estructura y textura y retiene poca cantidad de agua, para lo cual se recomienda aplicar frecuentemente materia orgánica y abono natural, para aumentar la aireación del suelo, la porosidad y la fertilidad del suelo.

4.2.6. Velocidad de infiltración básica.

Al término de la prueba de campo y luego del procesamiento de la información generada, se obtuvo una velocidad de infiltración de 28,13 mm/h (Tabla 14), que corresponde a un suelo franco arenoso.

Según Jiménez y Rodríguez (2008), indican que el valor obtenido corresponde a la velocidad de infiltración, muy rápida, mostrándose como una debilidad debido a que es un suelo con baja retención de humedad, significando realizar riegos por periodos de tiempo más cortos.

Tabla 14*.Determinación de la velocidad de infiltración básica.*

Velocidad de infiltración básica			
Primera prueba	Segunda prueba	Tercera prueba	Promedio
29 mm/h	27 mm/h	28,4 mm/h	28,13 mm/h

4.3. Resultados para el segundo objetivo

A continuación, se presentan resultados de la evaluación del sistema de riego por aspersión implementado por el propietario de la finca, tanto el diseño agronómico como el hidráulico.

4.3.1. Evaluación del diseño agronómico.

En la Tabla 15 se describe las características agronómicas correspondientes al sistema de riego implementado, donde se determinó que el propietario de la finca riega con un solo aspersor, en un marco de riego de 20 x 20 metros y con un diámetro húmedo de 22 metros. (Anexo 15, lámina 2). Además, se evidenció que riega con una frecuencia de riego de 2 días y un tiempo de riego de 12 horas.

La situación actual del café, tiene un desarrollo en promedio de 2 metros de altura, con una profundidad radicular de 30 cm y la densidad de siembra de 2 x 1,5 metros.

Tabla 15*. Datos agronómicos del sistema de riego por aspersión actualmente.*

Descripción	Valor	Unidad
Frecuencia de riego	2	días
Marco de riego	20 x 20	m
Tiempo de riego	12	h
Densidad de siembra	2 x 1,5	m
Número de aspersores	1	u
Profundidad de las raíces	40	Cm
Caudal del aspersor	0,39	l/s
Diámetro húmedo	22	M

El diseño agronómico presenta varias debilidades entre ellas como menciona Duarte (2016), una frecuencia de riego adecuada para el café es de 3 a 4 días, no cumpliendo con la frecuencia de riego utilizada en la finca, considerándose muy corta pudiendo ocasionar varios problemas como menciona Pesler (2000), demasiada agua aplicada al suelo puede ser perjudicial para el cultivo, ocasionando mala aireación debido a la saturación, lixiviación de los nutrientes de la zona de las raíces, salinización por mal drenaje y además de esto en terrenos con pendientes altas, se producen efectos de escorrentía en el terreno ocasionando la pérdida de agua y destrucción del terreno.

4.3.2. Evaluación del estado actual de la infraestructura hidráulica.

En la Tabla 16 se muestran las características hidráulicas del sistema de riego implementado. El sistema en el predio de estudio consta con una tubería principal de 2” de diámetro y 82 m de longitud, con una presión de trabajo en la parte alta de 1,5 bares y en la parte baja una presión de 3,5 bares; y, un caudal en la tubería principal de 2,5 l/s. La presión de trabajo del aspersor es de 3,0 bares y un caudal 0,39 l/s, con una altura del portaaspersor de 2 m (Anexo 10).

Tabla 16*. Evaluación de las características hidráulicas del sistema de riego implementado.*

Descripción	Valor	Unidad
Diámetro de la tubería de conducción	6	Pulgadas
Diámetro de la tubería principal	2	Pulgadas
Diámetro de tubería lateral	1	Pulgadas
Tipo de material de tuberías	Polietileno	
Modelo del aspersor	VYR-166, 1" H	
Presión del aspersor	3	Bares

Las tuberías utilizadas en el predio se encuentran en un estado regular, debido a que estas se encuentran a la intemperie y el tipo de material (Polietileno) tiene limitada resistencia a altas temperaturas, por lo cual sería conveniente en sistemas de riego, utilizar estas tuberías enterradas para no ocasionar daños muy prematuros.

4.3.2.1. Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC).

El coeficiente de uniformidad obtenido, de las pruebas de campo, es del 71 % (Anexo 12). Según Caicedo *et al.* (2015) es considerado como un coeficiente de uniformidad regular.

Según la CAP (2010), menciona que la incorrecta distribución del riego está en función del marco de riego utilizado, considerando que la separación adecuada en marcos de riego cuadrados es del 60 %, y en marcos rectangulares y triangulares es del 40 % del diámetro húmedo emitido por el aspersor.

Estos parámetros corroboran que la uniformidad del sistema de riego, están directamente afectados por el incorrecto marco de riego utilizado en el predio, siendo pertinente reducir el espaciamiento entre aspersores para así obtener el traslape correspondiente, mejorando la uniformidad y así también el desarrollo del cultivo de café.

Por ello, es importante mencionar como una fortaleza el poder realizar el rediseño del sistema de riego, en el cual se pueda establecer marcos, tiempos y frecuencia de riego apropiadas para el cultivo de café, tomando en consideración todas las irregularidades antes mencionados, razones tanto agronómicas e hidráulicas y realizar una correcta tecnificación del sistema.

4.3.3. Rediseño del sistema de riego.

De acuerdo a la evaluación agronómica e hidráulica del sistema de riego, se evidencia que el sistema implementado, no cumple con las condiciones óptimas para su correcto funcionamiento, por lo cual se consideró realizar el rediseño del sistema de riego realizando tanto el diseño agronómico e hidráulico (Anexo 15. Lámina 3).

4.3.3.1. Diseño agronómico.

Para la elaboración del diseño agronómico se calcularon los siguientes parámetros:

a) Levantamiento topográfico de la superficie a regarse.

El levantamiento topográfico de la finca de estudio comprende dos áreas con cultivo de café. La primera área es de 0,7 ha y la segunda de 0,52 ha. Los datos son obtenidos en coordenadas UTM, consecutivamente se realizó el plano topográfico (Anexo 8) en el software de AutoCAD CIVIL 2015, con curvas de nivel a 2 metros, determinando que el terreno tiene en promedio una pendiente del 57% (Anexo 15. Lámina 1).

b) Aforo de la fuente de agua.

La fuente de agua pertenece al canal de riego "La Era", la cual es captada de la quebrada San Agustín. El caudal del canal es de 152,19 l/s, en el mes de junio, que se considera época de estiaje.

$$Q=A*V*Fc$$

$$Q= 0,23\ m^2 \times 0,82 \times 0,8$$

$$Q= 0,15\ m^3/s$$

$$\mathbf{Q= 152,19\ l/s}$$

Con este resultado se concluye que el propietario de la finca, al estar en la cabecera del canal, puede derivar de un mayor caudal, puesto que no hay turnos de riego en el sistema. Esto podría ocasionar problemas con el uso del agua de riego, debido que al momento que los usuarios de la parte alta reciban mayor caudal, los de la parte baja no reciben igual cantidad, ocasionando un uso irracional e injusto del de agua requerida para cada agricultor.

c) Necesidades hídricas del cultivo de café.

Las necesidades hídricas del cultivo están en función de los siguientes parámetros:

- **Evapotranspiración de referencia (Eto).**

Los resultados de Eto fueron obtenidos con el software Cropwat, propuesto por la FAO (1996), que aseguran que es un método confiable, el mismo que se basa en datos climáticos, durante un periodo de tiempo de 20 años, cuyos resultados son presentados en la Tabla 17.

Tabla 17. *Evapotranspiración de referencia (Eto).*

Meses	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Eto (mm/mes)	124	115	125	118	114	101	105	117	125	133	132	130
Eto (mm/día)	4,01	4,1	4,04	3,92	3,68	**3,37**	3,38	3,77	4,15	4,29	**4,39**	4,18

La mayor evapotranspiración de referencia es en el mes de noviembre con un valor de 4,39 mm/día y una mínima en el mes de junio 3,37 mm/día, como se muestra en la Tabla 17.

El sistema de riego La Era forma parte de la Subcuenca Campana-Malacatos, por ello, se contrasta con lo señalado por Cañar (2016), que menciona datos de evapotranspiración de

referencia máxima de 3,84 mm/día para el mes de octubre - noviembre y la mínima de 3,35 mm/día para el mes de junio; por lo cual estos valores son cercanos a los obtenidos.

- **Coeficiente de cultivo (Kc).**

Según Ramírez *et al*, (2010), el valor de Kc del cultivo de café, depende de la edad del cultivo y la densidad de siembra. El cultivo de estudio es de 3 años, con una densidad de siembra de 2 x 1,5 metros de distancia, el valor del Kc corresponde a 1,1 (Tabla 10). Este coeficiente va a variar cada año.

- **Evapotranspiración del cultivo de café (Etc).**

Los resultados obtenidos de la Etc, se indican en la Tabla 18.

Tabla 18. *Evapotranspiración del cultivo (Etc).*

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Etc mm/mes	137	140	138	129	125	111	115	129	137	146	139	143
Etc mm/día	4,4	4,5	4,4	4,3	4,0	**3,7**	3,7	4,1	4,6	4,7	**4,8**	4,6

La evapotranspiración del cultivo de café, se encuentra mayor en el mes de noviembre de 4,8 mm/día y una mínima en el mes de junio y julio con 3,7 mm/día, datos correspondientes a un cultivo de 3 años de edad, dichos valores son presentados en la Tabla 18.

Según Cisneros *et al*, (2015), mencionan que la evapotranspiración del cultivo de café, depende del año de producción en cual se encuentre, indicando que la evapotranspiración entre el tercer y cuarto año es de 4,33 a 4,8 mm/día respectivamente, datos parecidos a los obtenidos en el presente trabajo indicados en la Tabla 18.

- **Precipitación efectiva.**

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. *Precipitación efectiva.*

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pe (mm/mes)	66,3	107,6	**118**	85,1	45,5	25,2	17,7	**14,5**	17,6	65,0	58,7	72,0
Pe (mm/dia)	2,1	3,8	**3,8**	2,8	1,5	0,8	0,6	**0,5**	0,6	2,1	2,0	2,3

En la Tabla 19, se muestran datos obtenidos de precipitación efectiva, siendo el mes de marzo el de mayor precipitación 118,0 mm y en agosto el de menor precipitación con 14,5 mm.

Según Luna (2017), estudios de planeación de recursos hídricos en el barrio la Era, muestran resultados similares a los obtenidos (Tabla 19), del cual se destaca las mayores precipitaciones en el mes de marzo (117,7 mm) y menores precipitaciones en el mes de septiembre (14,6 mm). Estos datos corroboran los datos obtenidos en el presente trabajo de estudio. Es por ello que bajo estas condiciones se requiere brindar un riego complementario y así satisfacer la humedad óptima requerida por el cultivo.

- **Necesidades de Riego.**

En la Tabla 20, se muestran datos encontrados de la necesidad de riego para el sistema de riego.

Tabla 20. *Necesidades de riego calculadas.*

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Nr (mm/mes)	70,4	-18,7	19,8	44,3	80,0	86,0	97,6	114,1	119,4	81,3	86,2	70,5
Nr (mm/día)	2,3	0,7	**0,6**	1,5	2,6	2,9	3,1	3,7	**4,0**	2,6	2,9	2,3

La necesidad de riego máxima es de 4,0 mm/día, para el mes de septiembre, según se indica en la Tabla 20, el mes de menor demanda hídrica por el cultivo de café, es de 0,6 mm/día en el mes de marzo.

Según Cañar (2016), el requerimiento hídrico para el cultivo de café, se intensifica en el mes de agosto y se disminuye para el mes de marzo - abril, dato muy importante para el posterior diseño del sistema de riego.

d) Determinación de los parámetros de riego.

Los datos obtenidos a nivel de laboratorio y campo, se indica a continuación, mediante procesos matemáticos indicados a continuación:

- **Lámina de agua aprovechable (LAA):** el valor obtenido de la LAA o dosis de riego es de 72,4 mm hasta una profundidad efectiva del café de 280 mm.

$$LAA = \frac{CC - PMP}{100} x\ Da\ x\ Pro.ef$$

$$LAA = \frac{25{,}63\% - 10{,}5\%}{100} x\ 1{,}71\ g/cc\ x\ (400\ mm * 0{,}7)$$

$$\boldsymbol{LAA} = \mathbf{72{,}4\ mm}$$

- **Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA):** Este valor es la lámina que puede ser absorbida rápidamente, siendo que se encontraría por encima del umbral de riego, considerándose para el cultivo de café de 50 %. El dato corresponde a 36 mm.

LARA= LAA x UR

LARA= 72,4 mm*0,5

LARA= 36 mm

- **Frecuencia de riego (Fr):** La frecuencia de riego es de 9,04 días este valor se lo considera alto por lo cual se procede a corregir la lámina por 4 días.

Fr=LARA/Nr.máx

Fr= 36mm/4,00mm/día

Fr= 9,04 días.

- **Corrección de la lámina de riego por 4 días:** Con la corrección de la lámina para 4 días se pretende realizar un riego más práctico. Según Duarte (2016), una frecuencia de riego adecuada para el café es de 3 a 4 días.

Lmm_corr = Nr.máx (mm/día) *4 (días)

Lmm_corr =4,0(mm/día) * 4 (días)

Lr= **16 mm**

- **Lamina bruta (Lb):** el valor obtenido es de 21 mm, subministrando al suelo la cantidad de agua necesaria para su desarrollo, tomando la eficiencia de aplicación que es del 75 % para riego por aspersión.

Lb= Lámina_corregida/ Ea.

Lb= 16/ 0,75

Lb= 21 mm.

- **Intensidad de precipitación (Ip):** El valor de intensidad de precipitación es igual a 5,28 mm/h. El valor obtenido es un parámetro importante para el diseño de riego, teniendo que cumplirse la condición $Ip_{asper} \leq$ velocidad de infiltración. El dato adquirido cumple dicha condición de diseño de 5,28 mm/h ≤ 28,13 mm/h para el posterior diseño del sistema de riego.

$$IP = qa / Sa * Sl$$

$$Ip = 0{,}760\ m^3/h / 12m * 12m$$

Ip= 5, 28 mm/h

Comparación

5,28 mm/h ≤ 28,13 mm/h

- **Tiempo de riego (Tr):** El tiempo de riego en el sistema de riego obtenido es de 4 horas.

$$Tr = Lb/Ip$$

$$Tr = 21\ mm / 5{,}28\ mm/h$$

Tr= 3,97 ≈ 4 horas

- **Marco de riego:** el marco de riego para el sistema es de 12 x 12 metros, con un diámetro húmedo (DH) de 24 metros. El marco de riego se ve afectado por la velocidad del viento, siendo en la zona de estudio de 3 m/s, por ello se redujo al 10 % el DH obteniendo un diámetro húmedo de 22 metros. Por ello, para lograr una mayor uniformidad del riego se procedió a buscar en catálogos, aspersores con este diámetro y así conseguir menos pérdida de agua y una mejor uniformidad (Anexo 13).

Según Saborío (2018), el espaciamiento adecuado en el cultivo de café entre aspersores y laterales, para que el cultivo de café reciba óptimamente el riego, y, para que este no sea afectado por la precipitación del aspersor es conveniente una separación de 12 metros entre aspersores y laterales.

- **Caudal del aspersor:** el caudal del aspersor se eligió tomando en cuenta valores de velocidad de infiltración básica y la separación entre aspersores este cálculo, deberá ser menor o igual, para compensar la velocidad con que el agua es escurrida del suelo.

$$Qasp = VIB \times Sa \times Sl$$

Qasp= 0,02813 m/h x 12m x 12m

Qasp= 4,05072 m^3/h

Qasp= 1,13 l/s

- **Selección del aspersor:** En base al caudal obtenido (1,13 l/s), se tomó en cuenta que el aspersor debe ser menor o igual al calculado (Anexo 13), tenido en cuenta que el tipo de aspersor debe ser especialmente para el cultivo de café y por lo tanto su impacto también debe ser moderado, por lo cual se eligió un aspersor con las siguientes características presentadas en la Tabla 21.

Tabla 21. *Características del aspersor seleccionado.*

Característica	Especificación
Tipo:	Aspersor plástico a impacto - Naandanjain 5022 SD-U hembra de ¾”.
Aplicaciones:	Riego y germinación de vegetales, flores y cultivos de viveros.
Diámetro de boquillas:	2,8 x 1,8 mm – Naranja.
Caudal del aspersor:	760 l/hora o 0,21 l/s
Presión del aspersor:	30 mca
Altura del elevador:	2 m
Diámetro húmedo:	22 m

- **Número de aspersores por lateral:** Tomando en cuenta la mayor longitud del lateral en el terreno, que es de 126 metros, se elabora la siguiente formula obteniendo como resultado 11 aspersores.

NAL =LTL/Sa

NAL= 126 m/ 12 m

NAL= **11 aspersores**

- **Caudal del lateral:** el caudal de lateral está en función del caudal emitido por el aspersor, más el número de aspersores que se encuentren en la tubería lateral, dando como resultado 2,32 l/s.

QL= qa x NAL

QL= 0,21 l/s x 11

QL= 2,32 l/s.

- **Caudal continuo:** Es el caudal que se considera para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo por un día. Resultando ser 0,75 l/s/ha. Esta expresado en l/s/ha.

Qc= Etc. máx / (Ef. del sis. x 8,64)

Qc= 4,82 mm/día / (0,75 x 8,64)

Qc= 0,75 l/s/ha

- **Caudal permanente:** El caudal permanente es de 0,91 l/s, considerado así porque es el caudal necesario para irrigar una determinada superficie de riego, tomando en cuenta la superficie de riego, siendo de 1,22 ha.

Qp=qc x sr

Qp= 0,75 l/s/ha x 1,22 ha

Qp= 0,91 l/s

- **Caudal de diseño:** El caudal de diseño obtenido es de 2,42 l/s, sirve para determinar el caudal necesario para diseñar el sistema de riego. Está en función del factor de operación del sistema de riego.

Qd= qp/Fo

Fo=(CR/Fr)*(N°h riego por día/N°h del día)

Fo= (3/4) x (12/24) =0,38

Qd= 0,91 l/s / 0,38

Qd= 2,42 l/s

En la Tabla 22 se muestran los parámetros de riego calculados.

Tabla 22. *Cálculos de la evaluación del diseño agronómico.*

Descripción	Valor	Unidad
Etc. Máx.	4,80	mm/día
Lámina de agua aprovechable	72,40	mm
Lámina de agua rápidamente aprovechable	36,00	mm
Frecuencia de riego	4,00	días
Lámina de riego corregida	16,00	mm
Lámina bruta de riego	21,00	mm
Intensidad de precipitación	5,28	mm/h
Tiempo de riego	4,00	h/día
Número de aspersores por lateral crítico	11,00	u
Caudal del lateral crítico	2,32	l/s
Superficie de riego	1,22	ha
Caudal continuo	0,75	l/s/ha
Caudal permanente	0,90	l/s
Fo	0,38	adimensional
Caudal de diseño	2,42	l/s

Los valores obtenidos en la Tabla 22, son importantes para la posterior elaboración del diseño hidráulico, así también, la correcta programación del riego y el dimensionamiento de tuberías.

4.3.3.2.Diseño hidráulico.

Según Valarezo (2013), para que el diseño sea factible se debe tomar las siguientes condiciones:

- La velocidad en la tubería, que debe estar entre 0,5 y 2,5 m/s.
- Las pérdidas por fricción (Hf), en tuberías laterales y secundarias no debe superen el 20 %.de la presión del aspersor (30 m.c.a)
- Las pérdidas por fricción (Hf), en las tuberías principales no debe superen el 15 % de la presión del aspersor (30 m.c.a)
- La diferencia de presión en el primer aspersor y el último deberán estar por debajo o igual al 20 % de la presión de trabajo del aspersor.

a) Pérdidas por fricción en las tuberías

Como se puede evidenciar en la tabla 23, los datos mostrados son de dos áreas, donde se calculó el diámetro de las tuberías, longitud de los laterales y la velocidad del agua en la tubería para el diseño (Anexo 15. Lámina 5).

Tabla 23.*Cálculo de pérdidas de carga por fricción en las tuberías.*

Área	Tubería	Tipo	Q (l/s)	Long. (m)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interno (mm)	Presión (Mpa)	Velocidad (m/s)	Hf (m)
Área 1	Principal	Pe	2,53	108	63	53,6	0,4	1,12	2,58
	Secundaria	Pe	2,53	26	50	42,6	0,4	1,77	1,9
	Lateral crítico	Pe	2,21	114	50	42,6	0,4	1,48	2,24
Área 2	Principal	Pe	2,73	38	63	53,6	0,4	1,21	0,94
	Secundaria	Pe	2,73	103	63	53,6	0,4	1,2	2,83
	Lateral crítico	Pe	0,84	41	32	27,2	0,4	1,22	0,95
	Terciaria	pe	2,73	54,5	50	42,6	0,4	1,91	1,79

b) Perdidas máximas y mínimas en los aspersores:

Como se observa en la Figura 9, se indica el comportamiento hidráulico del lateral más crítico del terreno de 114 m, en el Área 1, mostrando la presión máxima (32,71 m) y la presión mínima (29,51 m). La diferencia de presión que se presenta cumple la condición de diseño, es decir la pérdida máxima admisible (6 m) no supera la diferencia de presiones en el lateral (3,20).

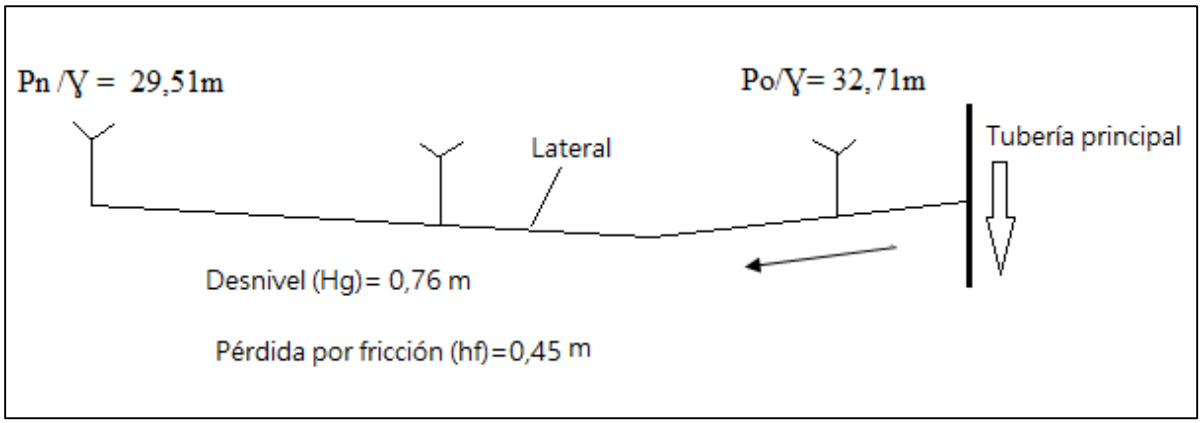


Figura 9. *Cálculo de las presiones máxima y mínima.*

Para hacer el cálculo del diseño hidráulico se recurrió a la ayuda de la fórmula de Hazen-Williams.

- **Presión máxima del lateral**

Po/Ɣ= Pa Ɣ+3/4Hf +Hg/2+ Ha

Po/Ɣ= 30 +3/4(0,45)+0,76/2 + 2 = **32,71 m**

- **Presión en el primer aspersor:**

Ppa= Po/Ɣ-Ha

Ppa= 32,71 – 2 =**30,71 m**

- **Presión final del lateral**

PF= Po/Ɣ – Hf

PF= 32,71 – 0,45 = 32,26 m

- **Presión en el último aspersor**

Pua= ppa – Hf

Pua= 32,71 – 0,45 = 32,26m

- **Presión mínima del aspersor**

Pn /Ɣ=Pa Ɣ−1/4 Hf –Hg/ 2

Pn /Ɣ = 30 −1/4(0,45)-(0,76/2) = 29,51m

- **Diferencia de presiones en el lateral**

La diferencia de presiones no debe sobrepasar el 20 % del desnivel del terreno.

Desnivel del terreno 0,76 %

Diferencia de presiones= Po/Ɣ - Pn

Diferencia de presiones= 32,71 m – 29, 51 m = 3,20 m.

Diferencia de presiones ≤ Pérdida admisible máxima 20 %(Pa)

3,20 m ≤ 6 m ➔ **cumple condición.**

c) Equipo motobomba.

Mediante los cálculos realizados para el equipo motobomba se obtuvo una carga dinámica total de 36, 45 m y una ubicación máxima de la motobomba sobre el espejo de agua de 0,5 m. La potencia requerida que se obtuvo fue de 3,44 Hp, sin embargo, se corrigió, por presión

atmosférica y la altitud del lugar, obteniendo un valor de 4,1 Hp, que es la potencia máxima requerida para poder trabajar (Anexo 14).

- **Carga dinámica total**

CDT = Hgeo + Hasp + Pasp + Helev + hf + hfsucc + hfsec + hv

CDT =-0,4m+0,3m+30m+2m+3,36m+0,06m+0,63m+0,5m

CDT= 36,45 m

- **Máxima ubicación de la motobomba sobre el espejo de agua UB**

UB= NPSHdis – NPSHreq UB= 7,5m – 7m = 0,5 metros

NPSHdis = Patm − Pvapor − hfsucc − hfacces succ

NPSHdis = 8,45m -0,24m-0,3m-0,63m

NPSHdis= 7,5 m

NPSHreq= 7 m

Potencia requerida

$$\boldsymbol{PB(Hp) = \frac{QB * CDT}{76 * n}}$$

PB= 3,59 x 36,45/76 x 0,5

PB= 3,44 Hp

- **Corrección de la motobomba**

Potencia = PB x F

Potencia=3,44 Hp x 1,18 **Potencia= 4,1 Hp.**

4.3.3.3. Presupuesto del rediseño del sistema de riego.

El presupuesto del rediseño del sistema de riego del Sr. Eduardo Zhingre es de 3211 dólares con 35/100, dichos valores se presentan en la Tabla 24. Estos precios representan los materiales del sistema totalmente nuevo.

Tabla 24. *Presupuesto para el rediseño del sistema de riego en la finca del Sr. Eduardo Zhingre.*

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo ($)	Total ($)
Desbroce y limpieza	1	ha	85,0	85
Tubería Pe 63 mm, 0.40 mpa	249	m	2,6	647,4
Tubería Pe 50 mm, 0.40 mpa	512,5	m	1,8	922,5
Tapón M roscado 50 mm flex	3	u	1,2	3,6
Adaptador M 50 mm	10	u	1,46	14,6
Tubería Pe 40 mm, 0.40 Mpa	45	m	0,9	40,5
Tapón M 40 mm	5	u	0,94	4,7
Adaptador M 40 mm	4	u	0,76	3,04
Tubería Pe 32 mm, 0.40 Mpa	251	m	0,6	150,6
Adaptador M 32 mm	4	m	0,55	2,2
Tapón M 32 mm	10	m	0,72	7,2
Válvula 40 mm bola roscado H	7	u	6,5	45,5
Válvula 50 mm bola roscado H	3	u	9,4	28,2
Válvula 50 mm bola roscado H	2	u	4,0	8
Aspersor NAAN-5022 SD-U 3/4"	34	m	13,9	472,6
Aspersor ht naandanjain 5035 sectorial ¾”	5	u	17,0	85
Abrazadera metálica de 50 mm	14	u	1,0	14
Abrazadera metálica de 40 mm	12	u	0,8	9,6
Abrazadera metálica de 32 mm	13	u	0,6	7,8
Tee PVC 40 x 40 mm	7	u	0,65	4,55
Tee PVC 50 x 50 mm	3	u	0,5	1,5
Tee PVC 32 x 32 mm	2	u	0,4	0,8
Teflón	5	u	1,0	5
Codo PVC 87° Hembra 40 mm	5	u	0,95	4,75
Codo PVC 87° Hembra 32 mm	2	u	0,8	1,6
Codo PVC 87° Hembra 50 mm	4	u	1,1	4,4
Collarín 32 mm a 3/4 "	36	u	1,0	36
Collarín 40 mm a 3/4 "	14	u	1,6	22,4
Collarín 50 mm a 3/4 "	29	u	1,9	55,1
Unión PVC roscable a 3/4 "	39	u	0,39	15,21
Neplo PVC a 3/4 " x 0,2 m	39	u	0,9	35,1
Elevador PVC a 1,80 m	39	u	1,1	42,9
Motobomba honda wb20xt (4hp)	1	u	430	430
Total				**3211,35**

4.4. Resultados para el tercer objetivo

La programación de riego se realizó en base al caudal dispone en el canal de riego, siendo de 152 l/s y a los parámetros de riego calculados; tiempo de 4 horas, frecuencia de 4 días y la lámina de agua a reponer de 21 mm/día, la cual es dividida en 2 áreas de riego que se menciona a continuación en la Tabla 25. El área 1 esta subdivida en 4 válvulas y el área 2 en 2 válvulas.

Tabla 25. *Programación de riego en la finca de estudio.*

Área	Día	Válvula	Tiempo (horas)	Caudal (l/s)
1	Lunes – Viernes	1	06h00 – 10h00	2,21
1	Lunes – Viernes	2	10h30 – 14h30	1,68
1	Lunes – Viernes	3	15h00 – 19h00	2,53
1	Martes-Sábado	4	06h00 – 10h00	1,90
2	Martes-Sábado	5	10h30 – 14h30	2,73
2	Martes-Sábado	6	15h00 – 19h00	2,73

4.4.1. Operación.

La programación del riego presentada, pretende que sea de forma más operativa y entendible para el agricultor (Anexo 15. Lámina 4).

$$T= (qe \times Af /Qf) \times I$$

T= 0,75 l/s/ha x 1,22 ha / 0,91 l/s x 4 días = **4,02 días**

Área 1:

El día lunes se inicia el riego (Tabla 25) abriendo la válvula 1 durante las 06h00 – 10h00, utilizando el sistema de bombeo. Las siguientes horas desde las 10h30 – 14h30 se procede a regar con la válvula 2 igualmente se utilizará la motobomba y desde las 15h00 – 19h00 se regará mediante la válvula 3. Después de 4 días se procede a regar nuevamente el día viernes.

El día martes abriendo la válvula 4, se procederá a regar 4 horas, desde las 06h00 – 10h00. Cumpliendo la frecuencia de 4 días se vuelve a regar el día sábado.

Área 2:

El riego en el área 2, se inicia el día martes, desde las 10h30 – 14h30 con la válvula 5, este lateral requiere de la utilización de motobomba. La válvula 6 se abre a las 15h00 – 19h00. La válvula 5 y 6 se abren nuevamente el día sábado.

5. Conclusiones

Las características hidrofísicas del suelo de la finca del Sr. Eduardo Zhingre son: textura franco arenoso, densidad aparente 1,71 g/cm^3, con problemas de compactación, causando mala penetración de las raíces y una baja retención de agua. Así también, se obtuvieron valores de CC a 1/10 atm de 25,63%, PMP a 15 atm de 10,50 %, una CA de 9,17 % y un porcentaje de AA de 15,13 %, encentrándose según el diagrama triangular en la zona II, correspondiente a una categoría pobre.

La evaluación agronómica del sistema de riego determinó que el cultivo se está regando actualmente con una frecuencia de riego 2 días, un tiempo de riego de 12 horas, una intensidad de precipitación de 28,13 mm/h considerándose rápida y un marco de riego de 20 x 20 metros siendo una separación no apropiada respecto al diámetro húmedo emitido por el aspersor (24 metros). En la evaluación hidráulica presentó un coeficiente de uniformidad CU es del 71%, correspondiendo a una distribución regular. Esto significa que el cultivo de café tanto agronómicamente e hidráulicamente, no se riega uniformemente, por lo cual se propone realizar algunas modificaciones mediante el rediseño del sistema.

El rediseño del sistema de riego por aspersión, se realizó todo nuevamente en función del diseño agronómico e hidráulico; en el diseño agronómico se calculó una frecuencia de riego 4 días y un tiempo de riego de 4 horas, para compensar una lámina de 21 mm, así mismo se definió un marco de riego de 12 x 12 metros. En el diseño hidráulico se determinó, para el área 1 diámetros nominales, en la tubería principal de 63 mm, una tubería secundaria de 50 mm y las tuberías laterales de 50 mm, en el área 2 se estableció una tubería principal y secundaria de 63 mm y los laterales de 32 mm.

Se elaboró la programación del riego, distribuyendo la finca en dos áreas, en la primera área se regará los días lunes, martes, viernes y sábado, mientras que en el área 2 se regará los días martes y sábado tomando en consideración las válvulas dispuestas en el diseño y así mismo considerando la frecuencia de 4 días y el tiempo de 4 horas.

6. Recomendaciones

Adicionar materia orgánica a la capa arable del suelo en la finca, para mejorar las condiciones de textura, humedad y aireación, y superar el problema de compactación del suelo.

Evaluar los coeficientes de uniformidad de aplicación de agua en el suelo y de distribución, una vez que se implemente el nuevo sistema de riego (rediseño) para comprobar si el sistema está funcionando adecuadamente.

Determinar la oferta y demanda hídrica para el predio, mediante otros métodos como la medición del estado hídrico del suelo (tensiómetros) y la medición del estado hídrico de la planta (cámara de tensión xilemática) y así obtener datos más aproximados a la realidad evitando errores al momento de implementación del sistema de riego.

Inspeccionar si el recuro hídrico del canal de riego, es repartido equitativamente a todos los socios de la junta de regantes y en caso de existir problemas en la repartición del mismo se recomienda proporcionar de turnos de riego que eviten problemas e injusticas a la hora de recibir el agua.

7. Bibliografía

Alulima C. (2012). Alternativas agroecológicas para el manejo del café. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.

Álvaro R. (2006). Evapotranspiración de referencia en la región andina de Colombia cenicafé. Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Obtenido de https://www.cenicafe.org/es/publications/arc057%2804%29288-298.pdf

Angella, G., Frías, C., y Salgado, R. (2016). Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo - planta. Argentina: INTA. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-_conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua_suelo_planta.pdf

Arango, J., Tobón, C. (2017). Capacidad de campo. Colombia: Universidad de Colombia. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/4787/7/70064307._1998_3.pdf

Arcila Pulgarín, J. (Mayo de 2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En E. B. Ltda. (Ed.), Sistemas de producción de café en Colombia (Editorial Blanecolor Ltda. ed.). Colombia. Obtenido de Cenicafé: https://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf

Bermúdez, J., y Mendoza J. (2015). Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por microaspersión en café (coffea arábica l.). Calceta: Editorial escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Bojacá, C., y Monsalve, O. (2012). Manual de producción de pepino bajo invernadero. (Vol. primer). Bogotá, Colombia: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Caicedo, C,. Balmaseda E., y Proaño, S. (2015). Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar en banano (Musa paradisiaca) en la finca San José 2, provincia Los Ríos, Ecuador. Obtenido de http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v24n1/rcta05115.pdf

Calvache, M. (2012). Manejo del agua: principios fundamentales. Ecuador. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/manejo_del_agua_de_riego_principios_fund.pdf

Cañar, R. (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). Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja.

Chucya, C. (2008). Diseño Hidráulico. Perú: Proyecto sub sectorial de irrigación PSI.

Cisneros, Z., Rey G., Martínez V., López S., y González, R. (2015). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia de Pinar del Río. Cuba: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAGRIC). Boyeros, La Habana, Cuba. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000200004

Consejería de Agricultura y pesca. (1999). Manual de rego para agricultores. Módulo 3. Riego por aspersión. España: Gráficas Chamorro (Jaén). Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Riego%20aspersion.pdf

Consejería de agricultura y pesca. (2010). Riego por aspersión. Sevilla: Instituto de investigación y formación agraria y pesquería. Obtenido de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersixn.pdf

Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. En Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca: Inta- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Duarte, C. (2016). Efecto del riego en crecimiento y rendimiento del café (Coffea arabica L.) Catrenic, Nicaragua. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/525-1319-1-SM.pdf

FAO. (2000). Gestión de la Calidad del Agua y Control de la Contaminación en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile: Ministerios de Obras Públicas y de Agricultura, Chile.

FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. En Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: Servicios de recursos, forment y aprovechamiento de aguas.

FAO. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia- Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Obtenido de http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf

FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (1996). En los suelos almacenan y filtran agua. Recuperado de http://www.fao.org/3/a-i4890s.pdf

Flores, D., y Alcalá M. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos. México: Universidad Nacional Autónoma De México. Instituto de Geología. Obtenido de http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/manual%20del%20laboratorio%20de%20fisica%20de%20suelos1.pdf

González, B., González, G., y Chávez R. (2012). Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas (Vol. III). México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v3n1/v3n1a2.pdf

Hargreaves y Merkley (2000). Fundamentos del Riego. Estados Unidos: Water Resources Publications.

INIAP. (1993). Manual del cultivo de café. Quevedo: Instituto Nacional Autonomo De Investigaciones Agropecuarias. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Manual%20del%20cultivo%20de%20cafe.pdf

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (2017). Programación de Riego. Uruguay: Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA Andes 1365, Piso 12 Montevideo - Uruguay.

Jiménez y Rodríguez (2008). Implementación de un sistema de riego por aspersión para uso agrícola, ubicado en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Agrícola en la parroquia Lodana del cantón Santa Ana". Manabí.

López, A. (2005). Manual de edafología. Sevilla, España: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. Obtenido de http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017-c2dccc3d62/edafologia%20del%20suelo.pdf

Luna, C., (2017). Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema La Era, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG). Loja - Ecuador.

M. Rojas, R. (2008). Las Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. En Planificación, Diseño y Manejo de Proyectos de Aguas y Tierras. Venezuela: Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, ULA, Mérida. Obtenido de http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/rojas.r/RASPA.PDF

Ministerio de Agricultura y Ganadería (2016). Sistema de información pública y agropecuaria. Información de la productividad del café. Quito, Ecuador. Recuperado de http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cafe

Moratiel Yugueros, R. (2017). Riego en cultivos: fundamentos y manejo (3ra edición ed.). España: Ediciones Mundi- Prensa.

Naroua, I., Rodríguez, L., Sánchez Calvo, R., & Rodríguez Ros, 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. Madrid: Investigación Hidráulica del Riego de la Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/19378/1/INVE_MEM_2012_140545.pdf

Ojeda, A., Leod, C., Águila, K., & Pino, M. (2018). Bases para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo del calafate in situ, para su adaptación al manejo agronómico. Chile: Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias - INIA Kampenaike. Obtenido de wttp://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40973.pdf

Ortega Farías, S., & Acevedo Opazo, C. (Marzo de 1999). Programación del riego . (C. N. proyectos Editor) Obtenido de http://bosques.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/9924/CNR-0287.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Otero, A., Montoya, F., & García, C. (2017). Programación de riego. Uruguay: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Programación%20de%20riego.pdf

Pérez Cutillas, P., Barberá, G., & García, C. (2015). Estimación de la humedad del suelo a niveles de capacidad de campo y punto de marchitez mediante modelos predictivos a escala regional. España: Departamento de Geografía. Universidad de Murcia.

PESLER, M. 2000, Fertigación e irrigación en café. Evaluaciones en café. Netafim. S. A. Israel.

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial " El Tambo" –Loja- Ecuador, Valido desde el 2014 - 2019: Zediframa S.A. Consultora.

Ramírez Builes, V., Jaramillo Robledo, Á., & Arcila Pulgarín, J. (2010). Índices para evaluar el estado hídrico en los cafetales. Caldas, Colombia: Cenicafé. Obtenido de http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/46/1/arc061%2801%2955-66.pdf

Saborío Gutiérrez, L. (2018). Diseño De Un Sistema De Conducción Y De Dos Sistemas De Riego Para Café En El Centro De Investigación Del Café De Costa Rica. Cartago, Costa Rica: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA. ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9879/dise%C3%B1o_sistema_conduccion_dos_sistemas_riego_para_cafe_centro_investigacion_cafe_costa_rica.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Salamanca Jiménez, A., & Sadeghian Khalajabadi , S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetalera colombiana. Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

Salgado V., E. (2001). Curso relación suelo agua planta. Chile: Universidad Católica de Valparaíso.

Santos, P. (2010). El riego y sus tecnologías (Vol. 1ra edición). España: Europa América en Lisboa. Obtenido de Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla - La Mancha.

Sato, F., da Silva, A., Coelho, G., A, l, & Carvalho, L. G. (Agosto de 2007). Coeficiente de cultura (Kc) do cafeeiro (Coffea arabica L.) no período de outono-inverno na região de Lavras - MG1. Obtenido de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162007000300007&fbclid=IwAR1tN__Kx4QRxmDLgIKQfOhgYAswKzMgB7KBFvBB7UWiYoMMDpR5kLw8cDc

Schulbach Borquez, E. (1999). Programación de riego. Talca: Universidad De Talca Facultad De Ciencias Agrarias Servicio Integrado de Agrocimatología y Riego (SIAR). Obtenido de http://bosques.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/9924/CNR-0287.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Servín Palestina , M., Medina García , G., Casas Flores, I., & Catalán Valencia , E. (2012). Sistema en línea para programación de riego de chile y frijol en zacatecas. (C. d. Zacatecas, Ed.) Zacatecas, México: Inifap.

Silva C, P., Silva R. , H., Garrido S. , M., & Acevedo H. , E. (2015). manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos. Santiago: Departamento de Producción Agrícola - Facultad de Ciencias Agronómicas - Universidad de Chile .

Silva, A.; Ponce De León, J.; García, F. Y Durán, A. 1988. Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. Boletín de Investigación Nº 10. Facultad de Agronomía. Universidad de la República

Universidad de Sevilla. (2007). Opencourseweb. Obtenido de http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20asersion/page_06.htm

Valarezo Manosalvas, I. (Abril, 2013). Módulo VI: Sistemas de Riego superficial y presurizado. En U. N. Renovables (Ed.). Loja, Ecuador.

Valverde, J. C. (2007). Riego y Drenaje. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.

Venegas Sánchez, S., Orellana Bueno, D., & Pérez Jara , P. (2018). La realidad ecuatoriana en la producción de café. Ecuador: Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento. 2 (2). pp. 72-91. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-LaRealidadEcuatorianaEnLaProduccionDeCafe-6732775.pdf

Villalobos, F., Mateos, L., Orgaz, F., & Fereres, E. (2009). Fitotecnia- Bases y tecnologías de la produccion agrícola. (Vol. 2da edición). Madrid- Barcelona - México: ETS Ingenieros Agrónomos y de Montes, Universidad de Córdoba e Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC).

Yague, P y Legaspi I. (1999). Técnicas de Riego. México: Mundi- prensa México, s.a. de c.v.

Zapatta, A y Gasselin, P. (2005). El riego en el Ecuador: Problemática, debate y políticas. Quito, Ecuador.

Zapatta, A. y Pierre, G. (2015). El riego en el ecuador: problemática, debate y políticas. Quito, Ecuador. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/266564765_El_riego_en_Ecuador_problematica_de bate_y_politicas.

Zotarelli, L., Dukes, M., & Morgan, K. (2019). Interpretación del Contenido de la Humedad del Suelo para Determinar Capacidad de Campo y Evitar Riego Excesivo en Suelos Arenosos Utilizando Sensores de Humedad. IFAS Extensión. Obtenido de https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AE/AE49600.pdf

Zúñiga Martínez, E. (2004). Diseño y evaluación del riego a presión. (p. edición, Ed.) Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

8. Anexos

Anexo 1. *Muestreo y recolección de suelos en la finca del Sr. Eduardo Zhingre.*

Anexo 2. *Constantes hidrofísicas del suelo.*

Profundidad	Textura	Da g/cc	% Sat	% CC a 1/10	% CC a 1/3	% P.M.P a 15 atm	VTP %	CA%	AA%	VFI %
0 - 20	Fo Ao	1,73	32,10	26,00	23,20	8,69	72,80	6,10	17,31	73,89
0 - 20	Fo Ao	1,66	36,60	23,30	23,20	10,35	65,60	13,30	12,95	75,55
0 - 20	Fo Ao	1,76	35,70	27,60	26,20	12,48	75,50	8,10	15,12	77,68
20 - 30	Fo Ao	1,76	20,34	15,73	14,93	7,11	75,50	4,62	8,62	72,31
20 - 30	Fo Ao	1,80	14,16	7,00	6,74	4,03	80,00	7,16	2,97	69,23

Anexo 3. *Determinación de la textura del suelo.*

FRANCO ARENOSO

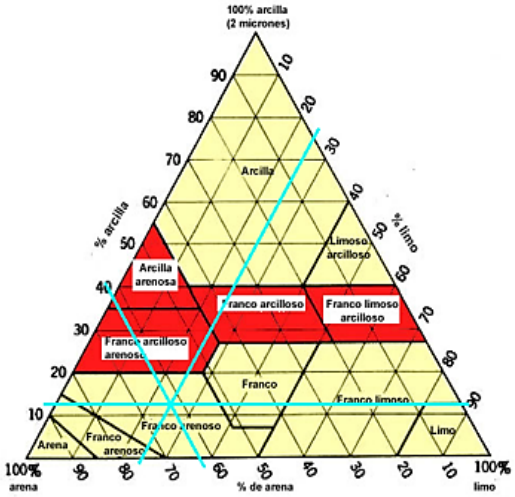
Primer horizonte

Arena	Arcilla	Limo
Ao=100-(1era.Lc x 2)	Ac= 2da lec. Corregida x 2	Lo=100-(%Ac + %Ao)
Ao=100-(19,46 x 2)	Ac= 6X2	Lo= 100 -(61,08+12)
Ao=61,08 %	Ac=12 %	Lo=26,92%

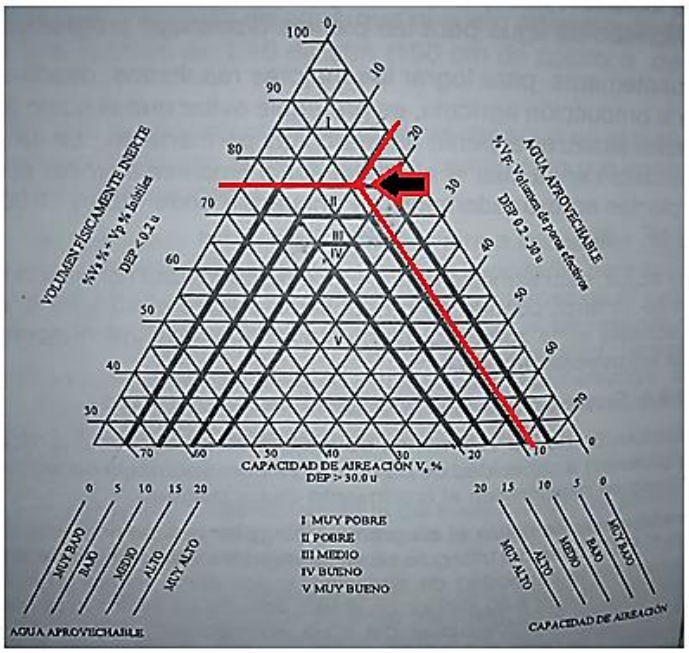
FRANCO ARENOSO

Segundo horizonte

Arena	Arcilla	Limo
Ao=100-(1era.Lc x 2)	Ac= 2da Lc x 2	Lo=100-(%Ac + %Ao)
Ao=100-(17,46 x 2)	Ac= 5X2	Lo= 100 -(65,08+10)
Ao=65,08 %	Ac=10 %	Lo=24,92%



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

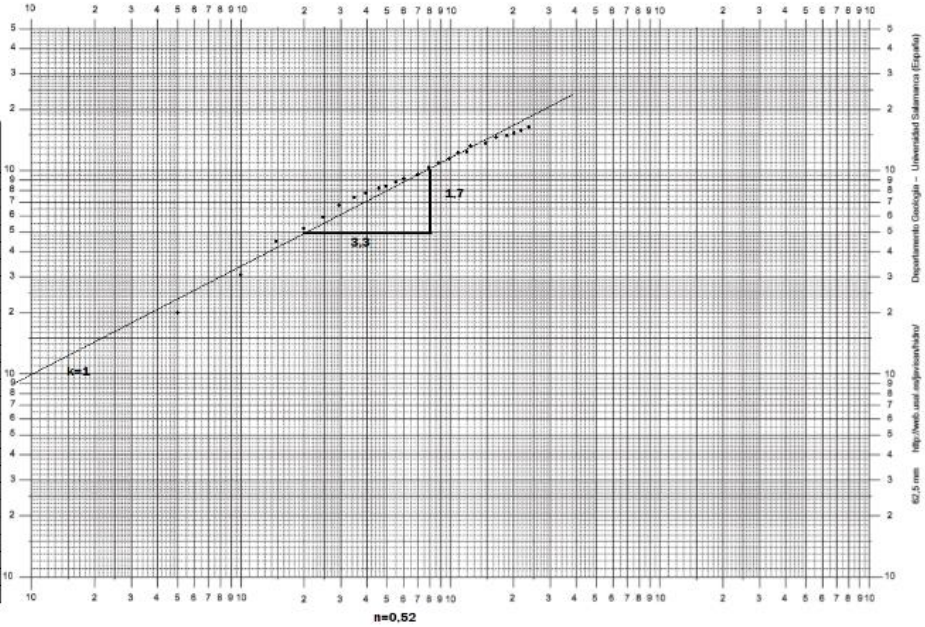


Anexo 5. *Realización de prueba de infiltración.*

Anexo 6. Determinación de coeficiente K y n para el cálculo de la velocidad de infiltración.

Primera prueba

Tiempo Acumulado (min)	Acumulado (cm)
5	2
10	3,5
15	4,5
20	5,2
25	6
30	6,7
35	7,3
40	7,8
45	8,1
50	8,3
55	8,8
60	9,2
70	9,7
80	10,3
90	11,1
100	11,7
110	12,2
120	12,6
135	13,2
150	13,7
165	14,3
180	14,8
200	15,3
220	15,8
240	16,3



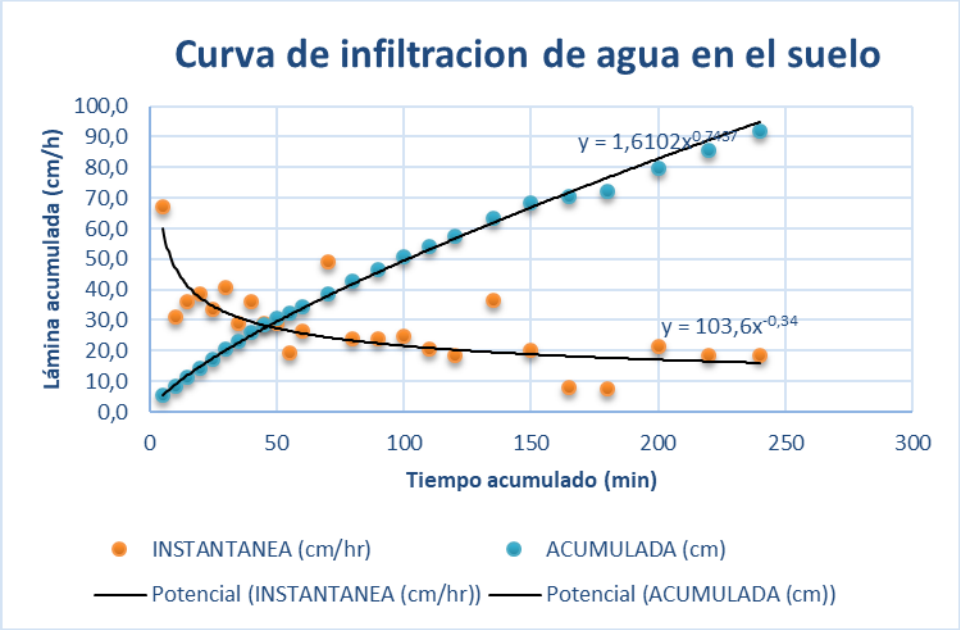
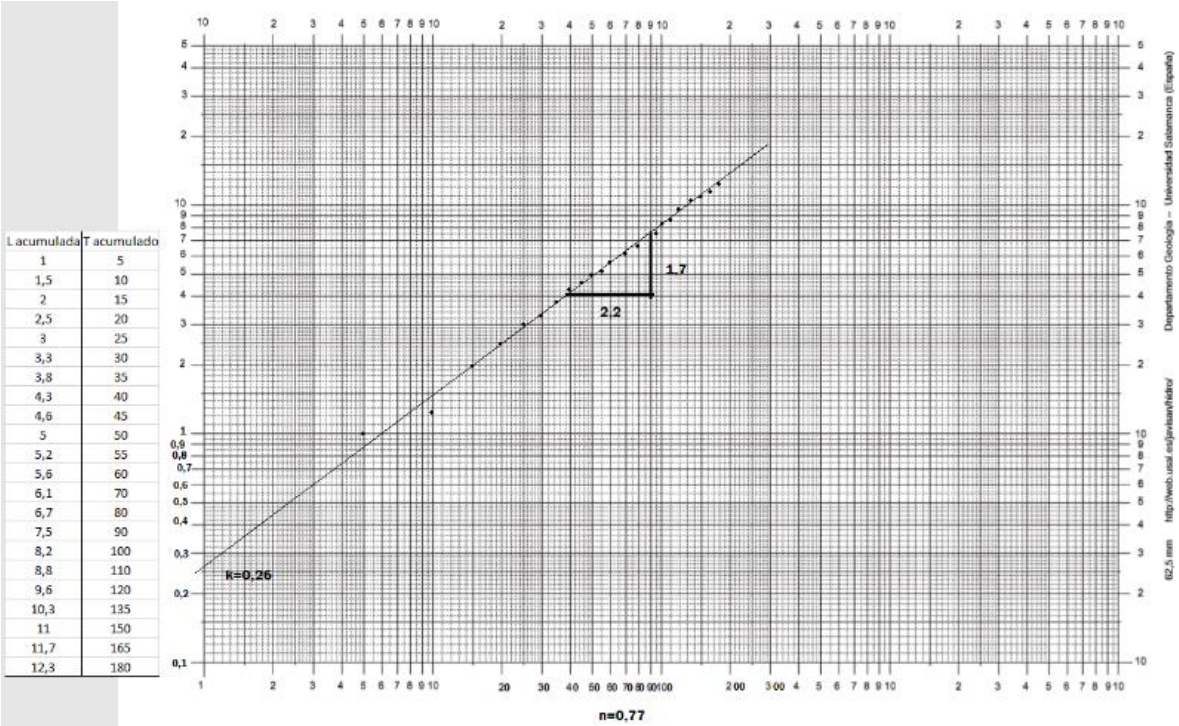


Figura 10. Curva de infiltración acumulada primera prueba.

Curva de infiltración acumulada primera prueba

Segunda prueba



L acumulada	T acumulado
1	5
1,5	10
2	15
2,5	20
3	25
3,3	30
3,8	35
4,3	40
4,6	45
5	50
5,2	55
5,6	60
6,1	70
6,7	80
7,5	90
8,2	100
8,8	110
9,6	120
10,3	135
11	150
11,7	165
12,3	180

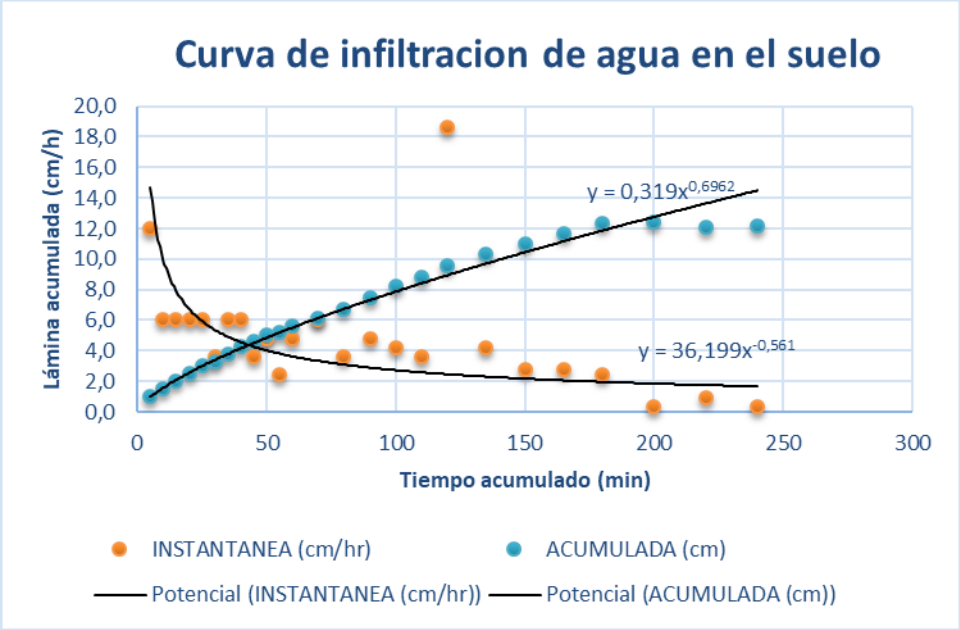
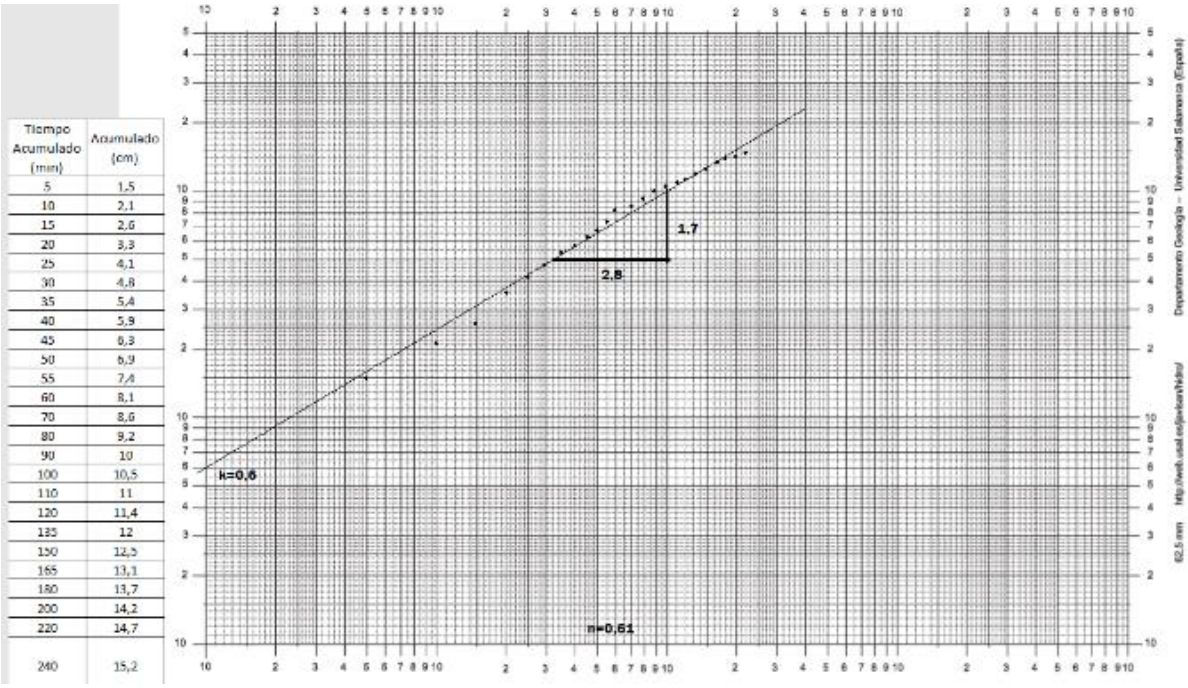


Figura 11. *Curva de infiltración acumulada segunda prueba.*

Prueba 3.



Tiempo Acumulado (min)	Acumulado (cm)
5	1,5
10	2,1
15	2,6
20	3,3
25	4,1
30	4,8
35	5,4
40	5,9
45	6,3
50	6,9
55	7,4
60	8,1
70	8,6
80	9,2
90	10
100	10,5
110	11
120	11,4
135	12
150	12,5
165	13,1
180	13,7
200	14,2
220	14,7
240	15,2

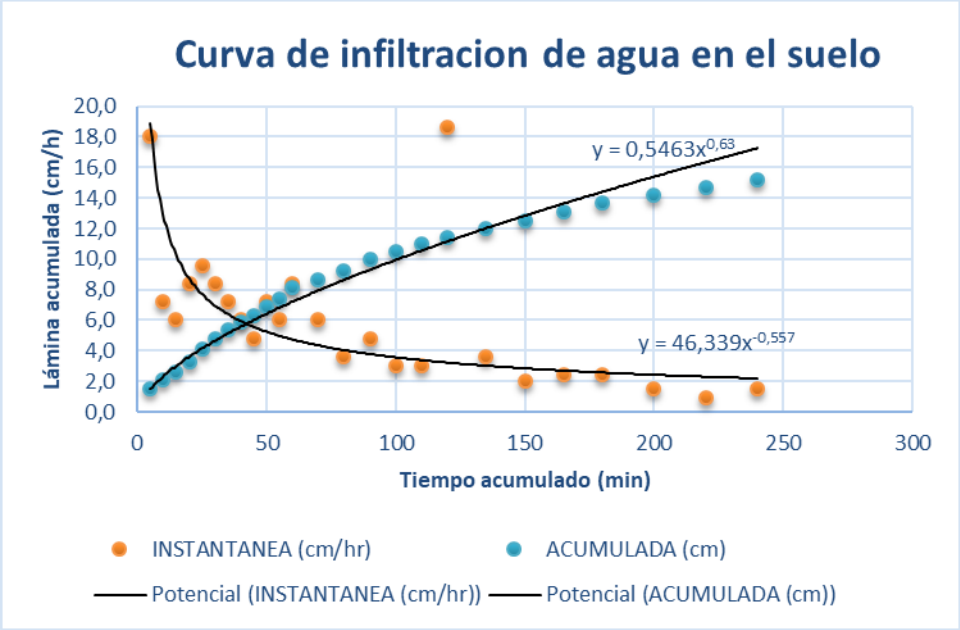


***Figura 12**. Curva de infiltración acumulada tercera prueba.*

***Anexo 7.** Serie de datos de estaciones meteorológicas según el INAMI.*

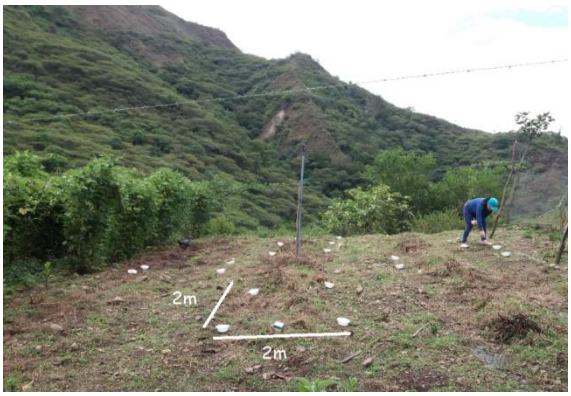
Datos de precipitación (mm) (1995 - 2015)												
ESTACION	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Catamayo	39,895	73,295	84,53	57,825	25,875	7,965	7	6,8475	14,98	37,56	27,768	38,703
Malacatos	69,75	130,12	128,35	97,96	38,38	9,83	5,82	4,69	12,51	88,77	68,97	86,40
Nambacola	69,09	163,06	258,55	120,71	48,35	10,67	6,30	4,12	3,45	30,98	43,88	63,09
Datos de Humedad relativa (%) (1995 - 2015)												
ESTACION	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Catamayo	63,35	65,85	65,00	65,66	63,25	59,19	55,67	54,52	53,63	59,85	60,12	61,43
Malacatos	84,76	85,31	85,31	85,50	85,81	86,21	85,51	85,77	84,02	83,88	84,45	84,71
Nambacola	75,45	77,55	78,91	76,64	74,86	71,00	66,45	65,00	65,53	68,73	73,40	73,36
Datos de Temperatura máxima (°C) (1995 - 2015)												
ESTACION	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Catamayo	28,20	28,30	28,10	28,50	28,90	28,40	28,20	29,00	29,40	29,30	29,90	29,30
Malacatos	28,79	28,37	28,68	28,59	28,71	28,20	28,51	28,69	29,03	29,54	29,60	29,33
Nambacola	25,93	25,29	25,67	25,83	26,14	26,45	26,68	27,16	27,41	27,36	26,41	26,04
Datos de Temperatura minima (°C) (1995 - 2015)												
ESTACION	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Catamayo	17,10	17,30	17,40	17,10	16,90	17,00	16,90	17,00	16,80	16,70	16,40	16,90
Malacatos	14,9	15,1	15	14,9	14,2	13,7	13,8	13,9	14	14,1	13,8	14,6
Nambacola	13,85	14,07	14,17	13,85	14,08	13,92	13,73	14,11	13,98	14,30	13,83	13,44

***Anexo 8**. Levantamiento del área de estudio.*

***Anexo 9.** Aforo del caudal del canal de riego y el caudal disponible.*

***Anexo 10.** Evaluación de las características hidráulicas de la finca.*

Anexo 11. *Prueba de uniformidad de riego en el sector la Era.*



Anexo 12. *Calculo del coeficiente de uniformidad.*

n	Volumen (cm3)	D.S
1	40	4,5
2	25	19,5
3	25	19,5
4	20	24,5
5	25	19,5
6	35	9,5
7	50	5,5
8	65	20,5
9	70	25,5
10	50	5,5
11	45	0,5
12	65	20,5
13	35	9,5
14	52	7,5
15	40	4,5
16	45	0,5
17	70	25,5
18	35	9,5
19	35	9,5
20	63	18,5
Total	890	260
Promedio	44,5	
CUC=	70,8	%

Anexo 13. Características técnicas del aspersor a utilizar.

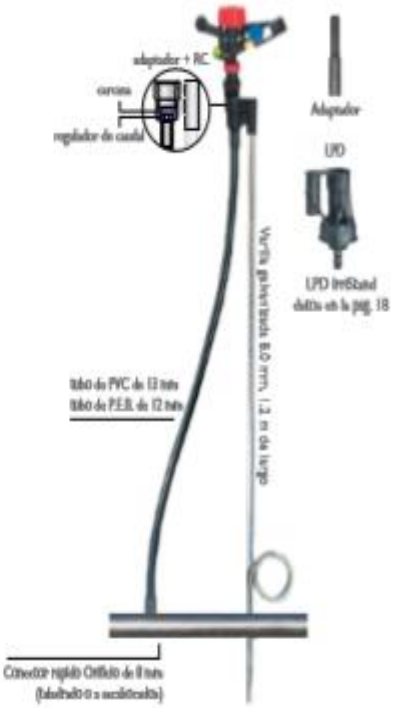
5022 SD-U

Sistemas IrriStand

Aspersor plástico a impacto macho de 1/2" o hembra de 3/4" Montado sobre el Irristand 52,53 o en elevador

Aplicaciones: riego y germinación de vegetales, flores y cultivos de viveros.

- Diseño único de aspersor-martillo SD (super difusor) para un rango extra de cobertura
- SD - Diseñado para lograr un rendimiento óptimo y para disponer de una forma de corriente adecuada para bajas presiones. Una respuesta única al último tornillo difusor
- Gran uniformidad de distribución, hasta 12 metros
- Mayor resistencia al viento
- Diseñado para ciclos cortos de riego para germinación
- Boquillas a bayoneta codificadas por color para un sencillo servicio
- Materiales plásticos de alto impacto y alta carga de trabajo, resistentes a la corrosión, a los productos químicos y a la radiación



5022 SD-U Tabla de Rendimiento, Boquilla Doble, Corto SD (azul)
Precipitación (mm/h) Espaciamiento (m)

Color de boquilla (mm)	P (bar)	Q (m³/h)	D (m)	Espaciamiento (m)				
				9x9	9x10	10x10	10x12	12x12
2.5x1.8 Violeta	1.5	0.440	18.5	5.4	4.9	4.4	3.7	3.1
	2.0	0.480	19.5	5.9	5.3	4.8	4.0	3.3
	2.5	0.535	21.0	6.6	5.9	5.4	4.5	3.7
	3.0	0.590	21.5	7.3	6.6	5.9	4.9	4.1
	3.5	0.635	22.0	7.8	7.1	6.4	5.3	4.4
	4.0	0.685	21.5	8.5	7.6	6.9	5.7	4.8
R.C	30-50	0.590	21.0	7.3	6.5	5.0	4.9	4.1
2.8x1.8 Naranja	1.5	0.510	19.0	6.3	5.7	5.1	4.3	3.5
	2.0	0.620	20.0	6.9	6.2	5.6	4.7	3.9
	2.5	0.690	21.5	7.8	7.1	6.4	5.3	4.4
	3.0	0.760	22.0	8.5	7.7	6.9	5.8	4.8
	3.5	0.820	23.0	9.3	8.3	7.5	6.3	5.2
	4.0	0.860	22.5	9.9	8.9	8.0	6.7	5.6

Boquilla trasera: Verde brillante - 1.8mm

Código de color – Uniformidad de distribución	CU > 92%	CU 88-92%	CU 85-88%	CU < 85%

ANDANJAN Ltd. 10/2013

Anexo 14. *Características técnicas de la motobomba a utilizar.*

Motobomba
WB20 XT
Aguas Limpias

Equipada con motor de 4 HP con sistema OHV, con carcaza y turbina de acero fundido. Ideal para construcción, agricultura y flotas de alquiler, esta bomba robusta junta la calidad y performance de Honda con un bajo precio.

Ficha Técnica

Motor	
Tipo de Motor	GX120 - OHV 4 tiempos - Refrigerado por aire
Cilindrada	118 cm3
Potencia Neta	3,5 HP (2,6 Kw) a 3600 rpm
Encendido	Transistorizado
Arranque	Manual

Bombas de Agua	
Tipo de Bomba	Centrifuga auto cebante
Voluta	Hierro Fundido
Carcaza	Hierro Fundido
Tipo de sello	Carburo de silicio
Tiempo de cebado	110 seg. a 5 mts.
Caudal de descarga	600 lts./min.
Diámetro de succión	2" NPT
Diametro de descarga	2" NPT
Altura máxima de bombeo	32 m.
Altura máxima de succión	7,9 m.
Presión máxima	2,75 bar

Dimensiones	
Ancho	365 mm
Largo	455 mm
Alto	420 mm
Peso en seco	21 Kg.

Otras Especificaciones	
Capacidad de combustible	2,0 lts
Consumo Especifico de Combustible	1 lts/hs. a 3600 rpm
Capacidad de aceite	0,6 lts
Alerta de Aceite	No

Anexo 15. *Planos topográficos del rediseño del sistema de riego.*

689673E 689723E 689773E 689823E 689873E

9543711N 9543661N 9543611N 9543561N 9543511N 9543461N 9543411N

N

Área 1. 0,7 ha

Carretera Principal

Acometida

Área 2. 0,52 ha

Casa

VIVERO

VIVERO

CHIQUERO

1650 1640 1630 1620 1610

SIMBOLOGIA

- Área de riego
- Curvas de nivel 10m
- Curvas de nivel 2m
- Canal de riego
- Construciones rurales

DATOS CARTOGRÁFICOS EMPLEADOS
PROYECCIÓN : UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)
PROYECCIÓN : UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)
DATUM : SISTEMA GEODÉSICO MUNDIAL (WGS 84)
ZONA : ZONA : 17 SUR
MÉTODO DE MEDICIÓN RTK - GPS.

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

PROVINCIA: LOJA CANTÓN: CATAMAYO PARROQUIA: EL TAMBO SECTOR : LA ERA

CONTIENE: *Plano topográfico de la superficie de riego*

PROPIETARIO: *Sr. Eduardo Zhingre*

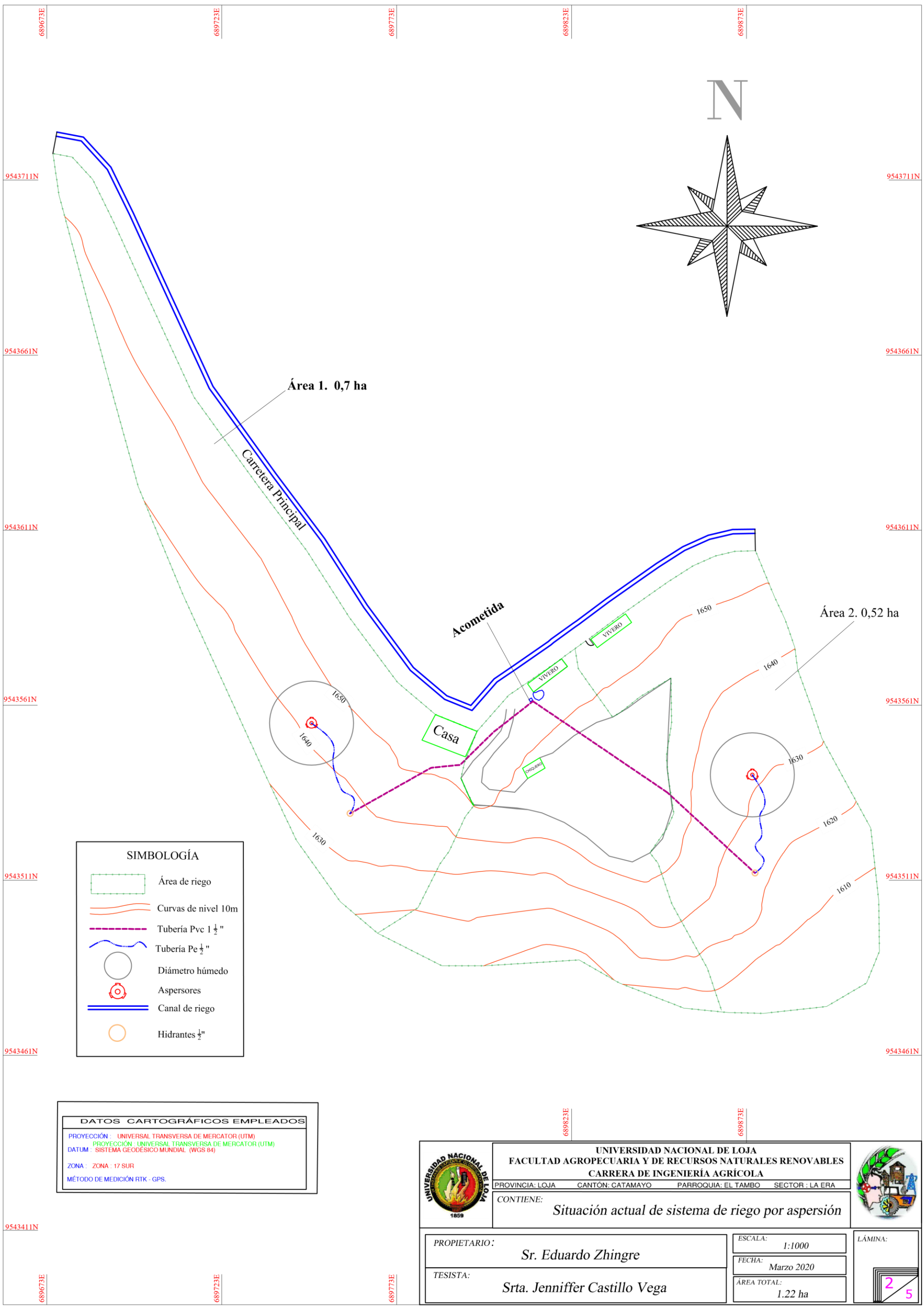
TESISTA: *Srta. Jenniffer Castillo Vega*

ESCALA: *1:1000*

FECHA: *Marzo 2020*

ÁREA TOTAL: *1.22 ha*

LÁMINA: 1 / 5


689673E
689723E
689773E
689823E
689873E
9543711N
9543661N
9543611N
9543561N
9543511N
9543461N
9543411N
N
Área 1. 0,7 ha
Carretera Principal
Acometida
Área 2. 0,52 ha
Casa
VIVERO
VIVERO
VIVERO
CHIQUERO
1650
1640
1630
1620
1610
SIMBOLOGÍA
Área de riego
Curvas de nivel 10m
Tubería Pvc 1 1/2 "
Tubería Pe 1/2 "
Diámetro húmedo
Aspersores
Canal de riego
Hidrantes 1/2"
DATOS CARTOGRÁFICOS EMPLEADOS
PROYECCIÓN : UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)
PROYECCIÓN : UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)
DATUM : SISTEMA GEODÉSICO MUNDIAL (WGS 84)
ZONA : ZONA : 17 SUR
MÉTODO DE MEDICIÓN RTK - GPS.
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
PROVINCIA: LOJA CANTÓN: CATAMAYO PARROQUIA: EL TAMBO SECTOR : LA ERA
CONTIENE:
Situación actual de sistema de riego por aspersión
PROPIETARIO:
Sr. Eduardo Zhingre
TESISTA:
Srta. Jenniffer Castillo Vega
ESCALA:
1:1000
FECHA:
Marzo 2020
ÁREA TOTAL:
1.22 ha
LÁMINA:
2
5

689673E 689723E 689773E 689823E 689873E

9543711N 9543661N 9543611N 9543561N 9543511N 9543461N 9543411N

N

Área 1. 0,7 ha

Área 2. 0,52 ha

Carretera Principal

Casa

VIVERO

VIVERO

CHIQUERO

Estación de bombeo

Lateral de crítico de Pe
L = 114m; Ø = 50mm
Q= 2.1 l/s; V = 1.48 m/s
Pn= 0.4 Mpa; hf = 2.24 m

Lateral 3 de Pe
L = 45m; Ø = 40mm
Q= 0.89 l/s; V = 0.98 m/s
Pn= 0.4 Mpa; hf = 0.59 m

Tubería secundaria de Pe
L = 26m; Ø = 50mm
Q= 2.53 l/s; V = 1.77 m/s
Pn= 0.4 Mpa; hf = 1.9 m

Válvula 1
Válvula 2
Válvula 3
Válvula 4
Válvula 5
Válvula 6
Detalle 1
Detalle 2
Detalle 3
Detalle 4
Detalle 5

Tubería de Principal de Pe
Ø=63mm; L= 108m
Q= 2.53 l/s; V= 1.12 m/s
hf = 2.6m; Pn 0.43 Mpa

Lateral 2 de Pe
L = 90m; Ø = 50mm
Q= 1.69/s; V = 1.18 m/s
Pn= 0.4 Mpa; hf = 1.19 m

Tubería de Principal de Pe
Ø=63mm; L= 34m
Q= 2.73 l/s; V= 1.21 m/s
hf = 0.94m; Pn 0.40 Mpa

Laterales de Pe
Ø = 32mm; Q= 0.84 l/s
V = 1.22 m/s; Pn= 0.4 Mpa
hf = 0.95 m

Aspersor NAAN 5022
Ø= 3/4 " Q= 760 l/h
Pn= 3 bares; Sa= 12m

Lateral 5 de Pe
L = 102m; Ø = 50mm
Q= 1.90/s; V = 1.33m/s
Pn= 0.4 Mpa; hf = 1.66 m

Tubería secundaria de Pe
L = 48m; Ø = 63mm
Q= 2.73 l/s; V = 1.20 m/s
Pn= 0.4 Mpa; hf = 1.32m

Aspersor NAAN 5022
Ø= 3/4 " Q= 760 l/h
Pn= 3 bares; Sa= 12m

Lateral 4 de Pe
L = 89m; Ø = 40mm
Q= 1.67/s; V = 1.8 m/s
Pn= 0.4 Mpa; hf = 1.15 m

Tubería terciaria de Pe
L = 54.5m; Ø = 50mm
Q= 2.73 l/s; V = 1.79 m/s
Pn= 0.4 Mpa; hf = 1.91m

1650 1640 1630 1620 1610

SIMBOLOGÍA

- Área de riego
- Curvas de nivel 10m
- Tubería principal
- Tubería secundaria
- Tubería tercearia
- Tubería lateral
- Aspersores
- Canal de riego
- Construciones rurales
- Válvulas de operación

DATOS CARTOGRÁFICOS EMPLEADOS

PROYECCIÓN : UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)
PROYECCIÓN : UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)
DATUM : SISTEMA GEODÉSICO MUNDIAL (WGS 84)

ZONA : ZONA : 17 SUR

MÉTODO DE MEDICIÓN RTK - GPS.

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

PROVINCIA: LOJA CANTÓN: CATAMAYO PARROQUIA: EL TAMBO SECTOR : LA ERA

CONTIENE:
Rediseño del sistema de riego por aspersión

PROPIETARIO: *Sr. Eduardo Zhingre*

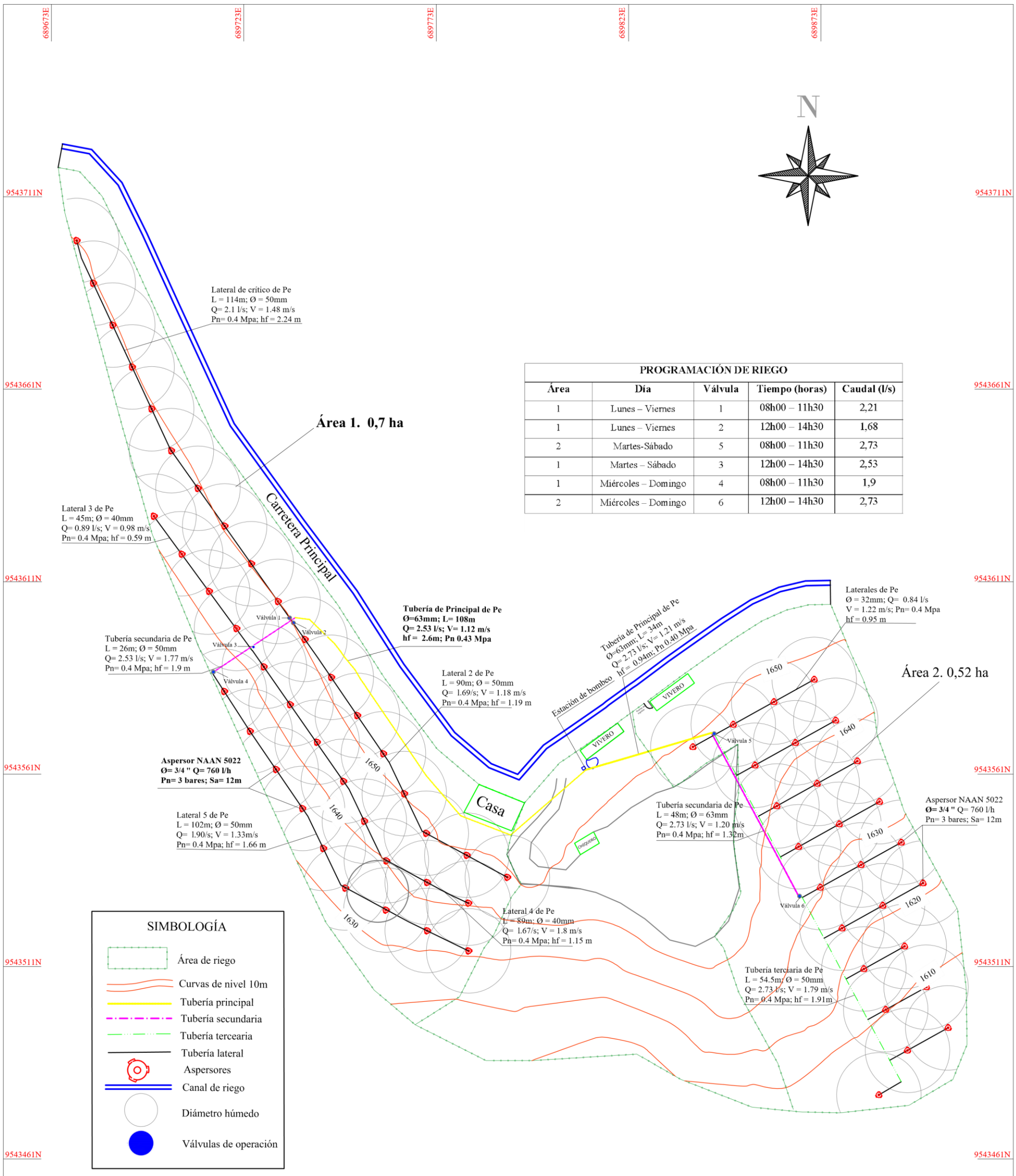
TESISTA: *Srta. Jenniffer Castillo Vega*

ESCALA: *1:1000*

FECHA: *Marzo 2020*

ÁREA TOTAL: *1.22 ha*

LÁMINA: 3 / 5



PROGRAMACIÓN DE RIEGO

Área	Día	Válvula	Tiempo (horas)	Caudal (l/s)
1	Lunes – Viernes	1	08h00 – 11h30	2,21
1	Lunes – Viernes	2	12h00 – 14h30	1,68
2	Martes-Sábado	5	08h00 – 11h30	2,73
1	Martes – Sábado	3	12h00 – 14h30	2,53
1	Miércoles – Domingo	4	08h00 – 11h30	1,9
2	Miércoles – Domingo	6	12h00 – 14h30	2,73

DATOS CARTOGRÁFICOS EMPLEADOS

PROYECCIÓN : UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)
: PROYECCIÓN : UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)
DATUM : SISTEMA GEODÉSICO MUNDIAL (WGS 84)

ZONA : ZONA : 17 SUR

MÉTODO DE MEDICIÓN RTK - GPS.

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

PROVINCIA: LOJA CANTÓN: CATAMAYO PARROQUIA: EL TAMBO SECTOR : LA ERA

CONTIENE:
Operación y programación de riego por aspersión

PROPIETARIO: *Sr. Eduardo Zhingre*

TESISTA: *Srta. Jenniffer Castillo Vega*

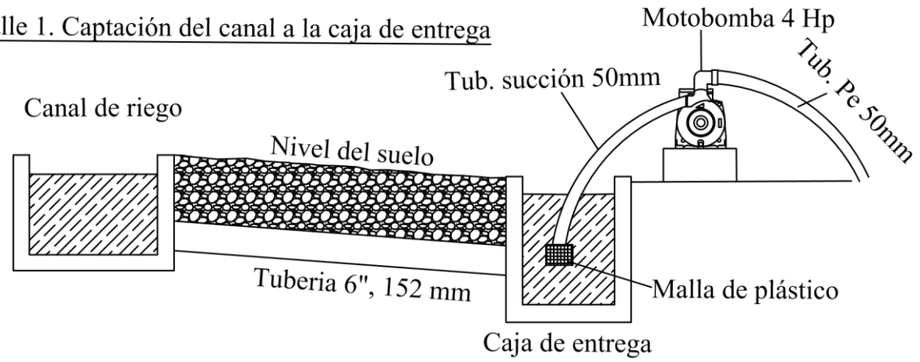
ESCALA: *1:1000*

FECHA: *Marzo 2020*

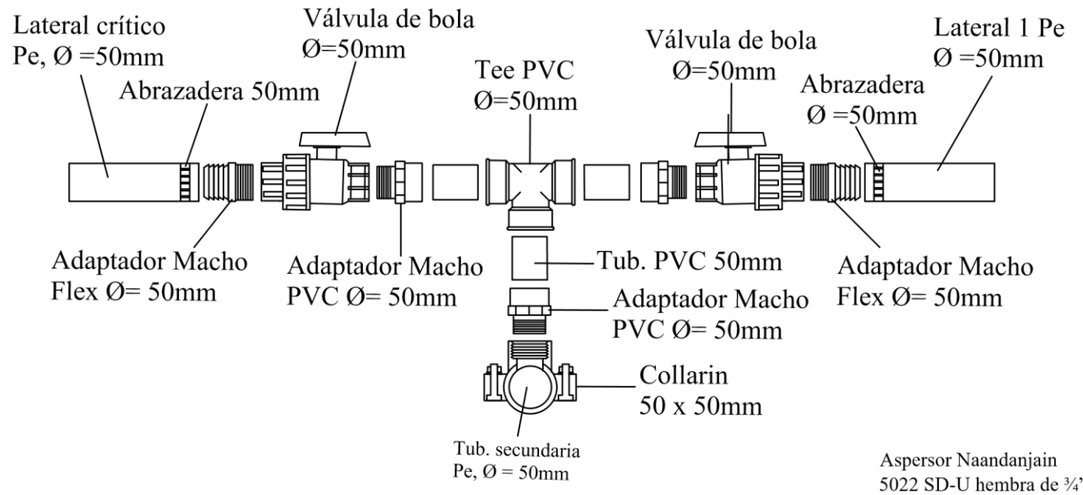
ÁREA TOTAL: *1.22 ha*

LÁMINA: 4 / 5

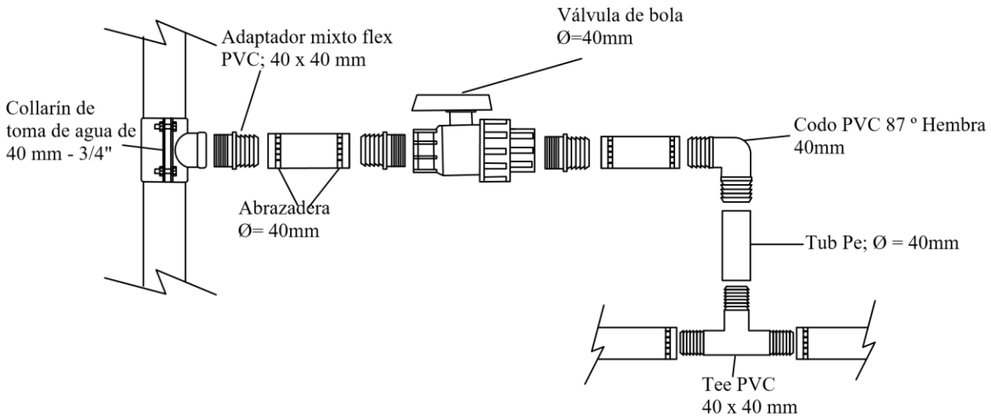
Detalle 1. Captación del canal a la caja de entrega



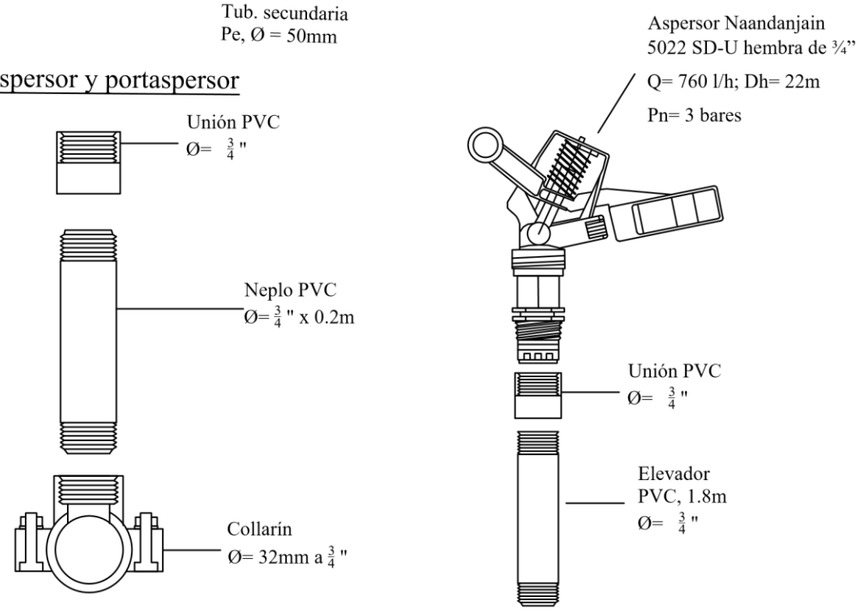
Detalle 2. Conexión de tubería principal a laterales.



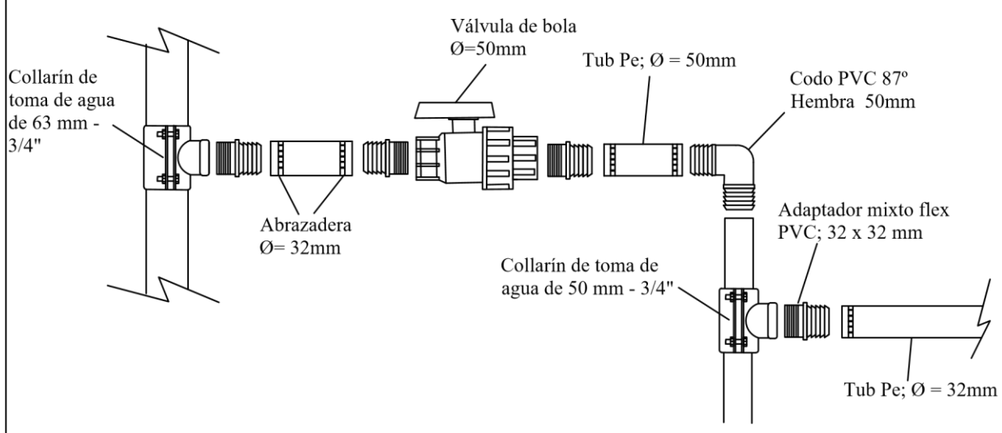
Detalle 3. Conexión de tuberia secundaria a lateral..



Detalle 5. Aspersor y portaspersor



Detalle 4. Funcionamiento de válvula 4.



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

PROVINCIA: LOJA CANTÓN: CATAMAYO PARROQUIA: EL TAMBO SECTOR : LA ERA

CONTIENE: *Detalles técnicos del sistema de riego por aspersión*

PROPIETARIO: *Sr. Eduardo Zhingre*

TESISTA: *Srta. Jenniffer Castillo Vega*

ESCALA:

FECHA: *Marzo 2020*

DIBUJO: *Diseño hidráulico*

LÁMINA: 5/5