



1859



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Título

Mejoramiento de la disponibilidad de riego y uso del agua en un predio del sitio del barrio Cabianga, parroquia Malacatos, cantón Loja.

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

Jimmy Roberto Correa Tamayo

Autor

Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc.

Director

Loja – Ecuador

2022



CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado.

**DOCENTE DE LA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.**

CERTIFICA:

En calidad de Director de la tesis titulada **“Mejoramiento de la disponibilidad de riego y uso del agua en un predio del sitio del barrio Cabianga, parroquia Malacatos, cantón Loja”**, de la autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola **Jimmy Roberto Correa Tamayo**, ha concluido con todas las actividades planificadas dentro del cronograma establecido y autorizo se continúe con el trámite de graduación.

Loja, 30 de agosto de 2021.



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

Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

De conformidad con el Art. 156 del Reglamento de Régimen Académico (2009) de la Universidad Nacional de Loja, el documento de tesis **MEJORAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE RIEGO Y USO DEL AGUA EN UN PREDIO DEL SITIO DEL BARRIO CABIANGA, PARROQUIA MALACATOS, CANTÓN LOJA**, de autoría del señor Jimmy Roberto Correa Tamayo, egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola, ha sido revisado y calificado, por lo que se autoriza la entrega oficial y sustentación pública.

Loja, 17 de diciembre de 2021



Firmado digitalmente por:
EDISON
RAMIRO

Ph.D. Edison Ramiro Vásquez
PRESIDENTE



Firmado digitalmente por:
OMAR AUGUSTO
OJEDA OCHOA

Ms.C. Omar Augusto Ojeda Ochoa
VOCAL



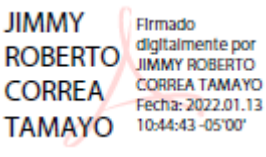
Firmado digitalmente por:
WALTER
RODRIGO TENE

Ms.C. Walter Rodrigo Tene Ríos
VOCAL

AUTORÍA

Yo Jimmy Roberto Correa Tamayo, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o 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.

Firma:  JIMMY
ROBERTO
CORREA
TAMAYO
Firmado digitalmente por
JIMMY ROBERTO
CORREA TAMAYO
Fecha: 2022.01.13
10:44:43 -05'00'

Autor: Jimmy Roberto Correa Tamayo.

Cedula: 1106051830

Fecha: Loja, 13 de enero de 2022

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **Jimmy Roberto Correa Tamayo**, declaro ser autor de la tesis titulada: “**MEJORAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE RIEGO Y USO DEL AGUA EN UN PREDIO DEL SITIO DEL BARRIO CABIANGA, PARROQUIA MALACATOS, CANTÓN LOJA**”, como requisito para optar al grado de Ingeniero 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 Nacional de Loja, 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 trece días del mes de enero de dos mil veintidós, firma el autor.

JIMMY
ROBERTO
CORREA
TAMAYO

Firmado digitalmente por
JIMMY ROBERTO
CORREA TAMAYO
Fecha: 2022.01.13
10:44:43 -05'00'

Firma:

Autor: Jimmy Roberto Correa Tamayo

Número de cédula: 1106051830

Dirección: Malacatos, Loja-Ecuador

Correo electrónico: jimmycorrea@hotmail.com.ar

Celular: 0988327512

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Tesis: Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Edison Ramiro Vásquez, Ph. D

Ing. Omar Augusto Ojeda Ochoa, Mg. Sc.

Ing. Walter Tene Ríos, Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a la Virgen del Cisne por haberme permitido concluir con mi formación académica; brindándome vida y salud, de igual manera agradezco a mis queridos padres y hermanos por haberme siempre brindado el apoyo incondicional día a día.

Agradezco a la prestigiosa UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables por haberme dado la oportunidad de formarme como profesional, de igual forma a la planta docente de la carrera de Ingeniería Agrícola por haberme impartido sus conocimientos y enseñanzas.

Así mismo quiero agradecer a mi director de tesis al Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado y al Ing. Geoavanni Fernando Gaona Aguirre, que contribuyeron para el cumplimiento de mi trabajo de tesis.

Finalmente agradezco a mis familiares y amigos por el apoyo y confianza que siempre me han brindado, y por varias experiencias que hemos vivido juntos, una vez más gracias a todos por haberme acompañado durante esta trayectoria hasta poder haber llegado a la meta.

DEDICATORIA

El presente trabajo principalmente le dedico a Dios y a la Virgen del Cisne por haberme protegido y guiarme en todo instante; y por permitirme culminar con mi formación académica.

Con mucho aprecio y cariño a mis padres: Manuel Correa y Alicia Tamayo, a mis hermanas: Liliana Correa y Melania Correa; por haber confiado siempre en mí y por su gran apoyo incondicional, de igual manera a mis demás familiares y amigos que siempre fueron influencia positiva durante mi formación universitaria.

Jimmy Roberto Correa Tamayo

TABLA DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS	II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	III
AUTORÍA	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA.....	VII
TABLA DE CONTENIDOS	VIII
1. TEMA	1
2. RESUMEN	2
2.1. <i>ABSTRACT</i>	3
3. INTRODUCCIÓN.....	4
3.1. <i>OBJETIVO GENERAL</i>	6
3.2. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA	7
4.1. <i>COMPONENTES BIOFÍSICOS</i>	7
4.1.1. <i>Clima</i>	7
4.1.2. <i>Relieve</i>	8
4.1.3. <i>Geología y Litología</i>	9
4.1.4. <i>Suelo</i>	9
4.1.5. <i>Uso y cobertura del suelo</i>	10
4.1.6. <i>Red hídrica</i>	11
4.2. <i>COMPONENTE ECONÓMICO PRODUCTIVO</i>	11
4.3. <i>HISTORIA DEL RIEGO</i>	12
4.4. <i>IMPORTANCIA</i>	13
4.5. <i>MÉTODOS DE RIEGO</i>	14
4.5.1. <i>Riego por superficie</i>	14

4.5.2. Riego presurizado.....	14
4.6. RELACIÓN SUELO AGUA PLANTA	21
4.7. PARÁMETROS HIDROFÍSICOS DEL SUELO QUE INTERVIENEN EN UN SISTEMA DE RIEGO	22
4.8. ENERGÍA DE AGUA EN EL SUELO	26
4.8.1. Potencial total (ψ_t).....	26
4.9. CURVA DE RETENCIÓN DEL AGUA EN EL SUELO	28
4.9.1. Contenido de agua en el suelo.....	30
4.9.1.1. Niveles de humedad del suelo.....	31
4.10. MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO.....	34
4.10.1. Infiltración.....	34
4.11. DISEÑO AGRONÓMICO.....	35
4.11.1. Cálculo de las necesidades de agua del cultivo.....	36
4.11.2. Determinación de parámetros de riego.....	38
4.12. DISEÑO HIDRÁULICO.....	43
4.12.1. Pérdidas de carga por fricción longitudinal	44
4.12.2. Pérdidas locales	44
4.12.3. Pérdida de carga en tubería multisalida (diseño del lateral).....	45
4.12.4. Criterios para determinar el dimensionamiento de un lateral de aspersores	46
4.12.5. Cálculo de un lateral porta-aspersores.....	47
4.13. PRESIÓN REQUERIDA DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN.....	52
4.14. EFICIENCIA DE RIEGO.....	52
5. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	53
5.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	53
5.2. MATERIALES.....	54
5.3. METODOLOGÍA PARA EL PRIMER OBJETIVO	54
5.3.1. Caracterización biofísica del predio motivo de estudio.	55
5.3.2. Caracterización económica productiva del predio.....	58
5.4. METODOLOGÍA PARA EL SEGUNDO OBJETIVO.....	60

5.4.1. <i>Diseño Agronómico</i>	60
5.4.2. <i>Diseño Hidráulico</i>	68
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
6.1. <i>RESULTADOS PARA EL PRIMER OBJETIVO</i>	74
6.1.1. <i>Caracterización biofísica del predio motivo de estudio</i>	74
6.1.2. <i>Caracterización económica productiva del predio</i>	80
6.2. <i>RESULTADOS PARA EL SEGUNDO OBJETIVO</i>	85
6.2.1. <i>Diseño Agronómico</i>	85
6.2.2. <i>Diseño Hidráulico</i>	94
6.3. <i>COSTOS DEL SISTEMA DE RIEGO</i>	96
7. CONCLUSIONES	98
8. RECOMENDACIONES.....	99
9. BIBLIOGRAFÍA	100
10. ANEXOS	110

TABLAS

Tabla 1.- Tipo de relieve	9
Tabla 2.- Clasificación taxonómica de los suelos por su orden	10
Tabla 3.- Valores para determinar la longitud mínima del elevador según el caudal	20
Tabla 4.- Densidad aparente en función de la textura.....	24
Tabla 5.- Contenido de agua a CC y PMP en distintas texturas	33
Tabla 6.- Separación entre aspersores en condiciones específicas del viento	42
Tabla 7.- Coeficientes para pérdidas en accesorios	45
Tabla 8.- Eficiencia de aplicación del agua según el método utilizado	52
Tabla 9.- Factor de corrección del caudal	58
Tabla 10.- Valores del factor C de la ecuación de Hazen-Williams.....	70
Tabla 11.- Resultados de encuestas a los usuarios de riego en el sector Cabianga	81
Tabla 12.- Cálculos de Evapotranspiración (ET _o).....	86
Tabla 13.- ET _c del cultivo de maíz	87
Tabla 14.- Índice de humedad.....	88
Tabla 15.- Requerimientos hídricos del cultivo	89
Tabla 16.- Pérdidas de carga por fricción en las tuberías, empleando el método de Hazen-Williams	94
Tabla 17.- Presupuesto de materiales y accesorios del Sistema de Riego	97

FIGURAS

<i>Figura 1.- Curva de retención del agua en el suelo para tres tipos de suelos característicos</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2.- Agua disponible en el suelo.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.- Disposición de los aspersores cuadrado, rectangular, triangular</i>	<i>43</i>
<i>Figura 4.- Localización del área de estudio.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 5.- Esquema del diseño agronómico para el sistema de riego por aspersión.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 6.- Esquema del diseño hidráulico para el sistema de riego por aspersión.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 7.- Topografía del predio de estudio</i>	<i>75</i>
<i>Figura 8.- Curva de retención de humedad en el suelo.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 9.- Coeficiente Kc del cultivo de maíz</i>	<i>86</i>
<i>Figura 10.- Representación de laterales</i>	<i>95</i>

ANEXOS

Anexo 1. Tabulación de encuestas realizadas sobre la adquisición del recurso agua a los usuarios de riego, en el sector del barrio Cabianga.	110
Anexo 2. Implementación de calicata para medir la zona radicular del cultivo.	113
Anexo 3. Levantamiento topográfico.	113
Anexo 4. Medición de la velocidad de infiltración.	113
Anexo 5. Resultados de análisis de las propiedades hidrofísicas del suelo del predio de estudio.	114
Anexo 6. Velocidad de infiltración de la zona de estudio.	116
Anexo 7. Datos de las etapas fenológicas y Kc del maíz, según Ureña (2017).	117
Anexo 8. Características del aspersor seleccionado.	118
Anexo 9. Valores de la velocidad del viento de la zona de estudio.	119
Anexo 10. Plano de traslape del diámetro húmedo de los aspersores.	120
Anexo 11. Diseño del sistema de riego por aspersión.	121
Anexo 12. Detalles técnicos del sistema de riego por aspersión.	122

**MEJORAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE RIEGO Y USO DEL AGUA
EN UN PREDIO DEL SITIO DEL BARRIO CABIANGA, PARROQUIA
MALACATOS, CANTÓN LOJA.**

2. RESUMEN

En el predio del Señor Ángel Correa ubicado en el barrio Cabianga, parroquia Malacatos, cantón Loja, provincia de Loja, pertenece a la formación geológica Quillollaco, relieve moderadamente ondulado, donde se han desarrollado suelos de orden Entisol, actualmente está dedicada a la agricultura; con la finalidad de lograr una mejor condición para suministrar el recurso agua al mismo se realizó un diseño de riego por aspersión para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en una superficie de 0,20 ha. Se evaluaron las constantes hidrofísicas del suelo como es: capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), porosidad, textura, densidad aparente y pH; para ello se tomaron muestras de suelo disturbadas y no disturbadas, para estas últimas se utilizaron cilindros Koppecky de 100 cm³ a una profundidad de 40 cm en relación a la zona radicular del cultivo. Con respecto al diseño agronómico se determinó principalmente las necesidades hídricas del cultivo (fase fenológica de desarrollo) utilizando el método indirecto de Penman-Monteith propuesto por la FAO para la obtención de la ETo a partir de datos climáticos obtenidos de anuarios meteorológicos del INHAMI, de la estación meteorológica de Malacatos; entre ellos, temperatura (máxima y mínima), velocidad del viento, heliofanía y humedad relativa; la curva del Kc se obtuvo con base a investigaciones realizadas por Ureña (2017), misma que permitió para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc). Los parámetros de riego determinados para el área de estudio fueron: lámina de riego de 33,78 mm, frecuencia de riego de 7 días y un tiempo de riego de 4,17 \cong 4h. Para el diseño hidráulico se calculó la red de tuberías principal, múltiple (secundaria) y laterales, con diámetros nominales de 63 mm, y 32 mm, se utilizó la ecuación de Hazen-Williams; para el cálculo de las tuberías multisalidas y/o ramales laterales se utilizó el coeficiente de Christiansen.

Palabras claves: riego por aspersión, diseño agronómico, diseño hidráulico.

2.1. ABSTRACT

In the property of Mister Ángel Correa located in the Cabianga neighborhood, Malacatos parish, Loja canton, Loja province, it belongs to the Quillollaco geological formation, moderately undulating relief, where soils of the Entisol order have been developed, currently it is dedicated to agriculture; In order to achieve a better condition to supply the water resource to it, a sprinkler irrigation design was carried out for the cultivation of corn (*Zea mays*) in an area of 0.20 ha. The hydrophysical constants of the soil were evaluated such as: field capacity (CC), permanent wilting point (PMP), porosity, texture, apparent density and pH; for this, disturbed and undisturbed soil samples were taken, for the latter 100 cm³ Koppecky cylinders were used at a depth of 40 cm in relation to the root zone of the crop. Regarding the agronomic design, the water needs of the crop (phenological phase of development) were mainly determined using the indirect Penman-Monteith method proposed by FAO to obtain ETo from climatic data obtained from INHAMI meteorological yearbooks, from the Malacatos meteorological station; among them, temperature (maximum and minimum), wind speed, heliophany and relative humidity; The Kc curve was obtained based on research carried out by Ureña (2017), which allowed for the calculation of crop evapotranspiration (ETc). The irrigation parameters determined for the study area were irrigation sheet of 33.78 mm, irrigation frequency of 7 days and an irrigation time of $4.17 \cong 4$ h. For the hydraulic design, the network of main, multiple (secondary) and lateral pipes was calculated, with nominal diameters of 63 mm, and 32 mm, the Hazen-Williams equation was used; For the calculation of the multi-outlet pipes and / or lateral branches, the Christiansen coefficient was used.

Keywords: sprinkler irrigation, agronomic design, hydraulic design.

3. INTRODUCCIÓN

Los recursos suelo, agua y cultivos son fundamentales para la seguridad alimentaria en todo el mundo. Las presiones demográficas, el cambio climático y la creciente competencia por la tierra y el agua agravan la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria, particularmente en África y Asia. El reto es producir suficientes alimentos para toda la población mundial (FAO, 2012).

El riego en Ecuador afronta un conjunto de problemas interrelacionados; entre ellos los más comunes están asociados a la escasa disponibilidad de agua, un acceso socialmente inequitativo, a la concentración regional de las inversiones públicas en riego, al bajo nivel de tecnificación, incoherencias de estrategias para el desarrollo del riego, debilidades institucionales, dificultades organizativas en la administración de los sistemas de riego (Zapatta & Gasselin, 2005).

El área regable neta del Ecuador es de aproximadamente el 93,3 % (3'136 000 ha) de las cuales están sobre las cuencas de la vertiente del Pacífico y la diferencia sobre la vertiente Amazónica. La cuenca más importante en extensión es la del río Guayas, que representa el 40,4 % de la superficie regable del país, seguida de la cuenca del río Esmeraldas con el 12,6 %. Del total del área regable, apenas 560 000 ha están bajo riego, lo que representa el 30 % de la superficie cultivada del país. Sin embargo la agricultura bajo riego tiene una significación mucho mayor que la de secano, aportando aproximadamente con el 75 % del valor de la producción agrícola nacional (Galárraga, 2010).

La mayor parte del consumo de agua del Ecuador se destina al riego, estimándose su uso en un 80 % del consumo total; sin embargo, las pérdidas en la captación, conducciones primarias, secundarias y terciarias y en el ámbito de parcela, hacen que las eficiencias varíen entre el 15 % y 25 % (Galárraga, 2010).

Las principales formas de riego que se utilizan en Ecuador son: 78 % (663 900 ha) de riego por inundación y gravedad, 20 % (170 100 ha) de aspersión y 2 % (19 400 ha) de riego localizado, lo que evidencia escasa tecnificación en la forma de aplicar el agua a los cultivos. Es importante tener presente que la tecnificación de riego parcelario no solo es dejar de regar por superficie y pasar al riego por aspersión o goteo; de hecho, implica considerar aspectos económicos, sociales y técnicos de una comunidad (Guamán, 2021).

La escasez de agua es alarmante en la provincia de Loja, los niveles de precipitación son en general bajos, con una escasa capacidad de regulación anual del agua disponible. Un factor que limita el desarrollo del sector agrícola en el cantón Loja, es la escasez de riego, solamente el 22 % de la superficie con uso agropecuario dispone de riego, mientras que el 78 % no lo tiene. Los sectores que cuentan con agua de riego alcanzan una superficie de 12 435,34 ha (6,57 % del área total) (Terán, s. f.).

En la provincia de Loja la mayoría de los agricultores riegan por inundación, provocando la erosión de los suelos y la pérdida de la capa fértil; un 75 % (8 386,51 km²) de la superficie de la provincia presenta una susceptibilidad a la erosión calificada como de alto riesgo; estos sistemas de riego por gravedad incrementan la pérdida de agua por escurrimiento, e infiltración (Torres, 2016).

Los cultivos existentes en la parroquia Malacatos son de ciclo corto y permanentes, siendo el ciclo corto la actividad más dinámica en épocas de lluvia; los productos de ciclo corto que se cultivan son: maíz suave, fréjol, tomate, pimiento y los permanentes como caña de azúcar, café y frutales. Algunos productos se comercializan el 100 % y otros los excedentes por ser el sustento familiar. La actividad agrícola se realiza de forma precaria por no contar con un buen servicio de agua para riego y baja tecnificación (Benítez, 2012). El predio motivo de estudio debido a estas

características y condiciones de su entorno también se ve afectado en su capacidad productiva al no disponer de un método de riego que se adecue a un escenario de constante disminución del caudal y la necesidad de dinamizar su producción.

Los métodos de riego disponibles para uso agrícola cada día se ven mejorados sobre todo en su parte tecnológica, ello permite que al incorporarlos en las actividades productivas agrícolas se logre por un lado un manejo más sustentable del agua y el suelo y a la vez permite desarrollar las actividades productivas con la posibilidad de incrementar la producción y por lo tanto mejorar la economía de las familias (Jiménez, 2019).

Por esta razón se realizó el diseño de un sistema de riego por aspersión para un predio del barrio Cabianga, con la finalidad de mejorar la eficiencia del uso del agua, optimizar la mano de obra y elevar la producción y productividad de los cultivos, evitando la pérdida de fertilidad del suelo por acción de la escorrentía o percolación profunda.

3.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema de riego presurizado por aspersión para una parcela productiva en el sector Cabianga en función a sus condiciones y características.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los componentes biofísicos y económicos productivos del predio motivo del estudio y su entorno cercano.
- Elaborar el diseño agronómico e hidráulico para el sistema riego por aspersión.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Componentes biofísicos

El componente biofísico corresponde al patrimonio y características naturales y físicas del territorio. Permite establecer potencialidades y problemas dados por las características propias del territorio, sus recursos para poder establecer propuestas y estrategias adecuadas de gestión territorial (PDOT, 2015).

4.1.1. Clima

Es el conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizado por los estados y la evolución del tiempo, en el curso de un periodo suficientemente largo y en un dominio espacial determinado (Linés, 2010).

- **Precipitación**

Se entiende por precipitación la caída de partículas líquidas o sólidas de agua. La precipitación es la fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas, debido a lo cual su evaluación y el conocimiento de su distribución, tanto en el tiempo como en el espacio son problemas básicos en hidrología (Chamba & Chunchu, 2011).

Para el cálculo de la precipitación se la puede determinar mediante los siguientes métodos; método de la media aritmética, método de los Polígonos de Thiessen, método de las curvas o Isoyetas (Genovez, 2018).

- **Temperatura**

Al ser considerada como la cantidad de calor que puede estar presente en una determinada masa de aire, es necesario tomar en consideración la variabilidad que esta puede presentar con el paso del tiempo. Para lo cual se necesita el análisis de datos diarios, mensuales e incluso anuales, en los cuales se pueda verificar su distribución tanto espacial como temporal que pueden

caracterizar el clima de una ciudad o región, se la determina por el método de Isotermas (Santillán & Zamora, 2021).

- **Heliofanía**

Es la duración del brillo solar reflejada en horas de sol, su instrumento aplicado para su medición es el heliógrafo, el cual registra el tiempo a través de décimas la radiación solar directa mediante unas bandas de papel o cartón (Alucho, 2020).

- **Humedad relativa**

Aquí se compara la cantidad de vapor que tiene el aire con el total que puede contener como máximo (aire saturado) y se expresa en porcentaje (%). La humedad también constituye un importante elemento climático ya que existen varios derivados de la condensación del vapor de agua, destacando los celajes, que se asocian a las precipitaciones (Rivas, 2018).

La humedad es la cantidad de agua que contiene el aire en forma de vapor, estando en función de la temperatura, depende principalmente de varios factores como la lluvia, las plantas, si el lugar está cerca al mar, etc. Se puede medir en porcentaje, con valores de 0 a 100, indicando que 0 representa aire seco y el 100 aire saturado de humedad (Jiménez, 2019).

- **Velocidad del viento**

Palma y Ramírez (2013); citado en Jiménez (2019) argumenta que la velocidad del viento es el espacio recorrido de la masa de aire en determinado tiempo (segundos, minutos, horas, etc.). Estando en función de la temperatura ya que el aire se mueve de altas a bajas presiones generados por los cambios de temperaturas. La velocidad del viento se expresa en km/h, m/s.

4.1.2. Relieve

El relieve se refiere al conjunto de irregularidades que presenta la superficie terrestre. Los relieves van cambiando, aunque estos cambios solo se ven en un cierto lapso de tiempo, pues son

muy lentos, salvo cuando se producen terremotos o erupciones volcánicas, ahí se evidenciará si la forma del relieve se modifica (Cevallos, 2019).

Tabla 1

Tipo de relieve.

Rango de pendientes (%)	Relieve
0-5	Plano a casi plano
5-12	Suave o ligeramente ondulado
12-25	Moderadamente ondulado
25-50	Colinado
50-70	Escarpado
>70	Montañoso

Fuente: (Cevallos, 2019)

4.1.3. Geología y Litología

Las formaciones o grupos geológicos indican el tipo de roca, asociados o materiales presentes en un determinado lugar y grupos macizos. La litología hace referencia al tamaño de grano, de las partículas y sus características físicas y químicas (PDOT, 2015).

4.1.4. Suelo

El suelo es el fundamento de los ecosistemas terrestres, sustento no solamente de las coberturas vegetales que hacen posible la vida sobre el planeta, sino base fundamental de la producción de alimentos en el mundo (María & Rafael, 2016).

- **Taxonomía**

El desarrollo de una clasificación de suelos propone ordenar los conocimientos y tiene claras implicaciones en la transferencia de conocimientos y tecnología. La taxonomía de suelos

debe permitir alcanzar la máxima solidez en la identificación y descripción del objeto, en este caso el suelo que sirve de soporte a distintos usos: agrícola, forestal, ingeniería civil, entre otros (Castrillo & Paoli, 2008).

Tabla 2

Clasificación taxonómica de los suelos por su orden.

ORDEN	DERIVACIÓN	CONNOTACIÓN
Gelisol	(gelu, hielo)	Suelo congelado.
Histosol	(histos, tejido)	Turba, suelo orgánico.
Espodosol	(spodos, ceniza)	Suelo ácido, queluviación, espódico.
Andisol	(ando, negro)	Propiedades ándicas y suelos volcánicos.
Oxisol	(oxide, óxido)	Suelos ácidos, endopedión óxico
Vertisol	(vertere, voltear)	Arcillas expansibles.
Aridisol	(aridus, árido)	Régimen de humedad arídico.
Ultisol	(ultimus, último)	Suelos ácidos, con horizonte argílico o kándico.
Mollisol	(mollis, mullido)	Epipedón móllico, SB \geq 50 %.
Alfisol	(pedalfer, Al, Fe)	Horizonte argílico, nátrico o kándico.
Inceptisol	(inceptum)	Grado de desarrollo incipiente o pobre.
Entisol	(recent, reciente)	Perfil poco desarrollado.

Fuente: (SIGTIERRAS, 2017)

4.1.5. Uso y cobertura del suelo

Se puede definir como cobertura vegetal a “la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisionómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales”. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana, como el caso de las áreas de cultivos (Abarca & Licuy, 2019).

La cobertura de vegetación y los usos del suelo constituyen la expresión conjunta de las plantas oriundas o introducidas y la utilización antrópica que se hace del medio biofísico de un

área. Es una de las más importantes manifestaciones espaciales de los paisajes naturales y culturales de un territorio (Contreras, 2015).

Entre los parámetros de clasificación de uso del suelo están: Agrícola, Agropecuario mixto, Agua, Antrópico (hielo y nieve), Conservación y protección, Conservación y protección o pecuario, Pecuario, Protección o producción y Tierras improductivas (PDOT, 2019).

4.1.6. Red hídrica

El agua es un elemento fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta, ya que constituye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible. Las cuencas hidrográficas ofrecen numerosos servicios a la sociedad. El suministro mundial de agua dulce para usos doméstico, agrícola e industrial depende mucho de los caudales que se producen y regulan en las cuencas (Abarca & Licuy, 2019).

4.2. Componente económico productivo

El componente económico productivo es el impulsador del conjunto e interrelaciones, y analiza de los diferentes factores fundamentales para el desarrollo de la economía productiva y potencialidades del territorio; entre los factores que componen el componente económico productivo son: trabajo y empleo, principales productos del territorio, seguridad y soberanía alimentaria, características de las actividades económicas agropecuarias, uso del suelo, financiamiento, infraestructura para el fomento productivo y síntesis del componente, problemas y potencialidades (Vélez, 2020).

Báez (2014); citado en Vélez (2020) argumenta que el crecimiento económico es una condición necesaria para la reducción de la pobreza por ello es imprescindible que los países en vías de desarrollo adecuen sus estructuras económico-políticas a los cánones de la economía de

mercado para que sean atractivos a la inversión extranjera que es necesaria para asentar las bases del crecimiento y bienestar de estos países.

El componente productivo son actividades diseñadas mediante estudio a la población y orientación planificada para una posible solución en el desarrollo del entorno social, cultural, económico y tecnológico. Donde la comunidad ejerza su vida cotidiana con labores productivas (Vélez, 2020).

4.3. Historia del riego

El uso del agua con fines productivos es una práctica prehispánica, la evidencia arqueológica y documental demuestran el uso de un conjunto de técnicas de regadío ligadas a los sistemas productivos de origen andino. Con la conquista española y la introducción de nuevos cultivos y tecnologías agrícolas, se introducen diferentes técnicas de riego; surgen sistemas más complejos, así como nuevos usuarios, hay un proceso de cambio que expresa las nuevas condiciones económicas y sociales del sistema colonial (Sánchez & Vinuesa, 2007).

Las primeras grandes obras de riego se desarrollaron en Egipto y Mesopotamia; cuando el hombre descubrió algunos métodos para producir alimentos, fue posible que se estableciera en un lugar por lo menos durante el tiempo que demora el desarrollo completo del cultivo. Lo anterior determinó la posibilidad de una vida sedentaria y por ende una división de las actividades de los individuos de una colectividad, dando origen a lo que hoy conocemos como una sociedad o asentamiento humano (Cardozo & Diaz, 2014).

Al principio eran inundados los terrenos más planos; luego se construyeron terrazas que también se regaron por inundación, con métodos que variaron en eficiencia de acuerdo con la habilidad, el ingenio y la necesidad del hombre de economizar agua (Cardozo & Diaz, 2014).

Solo a partir de las últimas décadas se ha enfrentado el riego con un enfoque científico racional, que permite utilizar el recurso con mayor eficiencia, minimizando efectos adversos como la erosión, el drenaje deficiente y la salinización de los suelos, problemas como la falta de recursos económicos, el deficiente manejo de los suelos y la baja rentabilidad de la agricultura han limitado el progreso del riego y del drenaje en nuestra región. En relación con los métodos de riego, el riego gravitacional superficial se usa en más del 95 % del área regada y con eficiencias de aplicación muy por debajo de la eficiencia de diseño. El riego por aspersión se utiliza en menos del 3 % del área regada, principalmente en Brasil, donde un 60 % del área regada utiliza este método. Se calcula que en el riego por goteo o microjet se usa en unas 150 000 hectáreas, menos del 1 % de la superficie regada total (Cardozo & Diaz, 2014).

4.4. Importancia

La importancia del riego está condicionada a la demanda y necesidades del mismo, en función a las limitaciones climáticas de la zona y será determinante en toda aquella región, donde el agua aportada por las lluvias no sea capaz de resistir la consumida por el cultivo. De todo lo indicado se deduce que el principal objetivo del riego será: proporcionar al cultivo la humedad necesaria para su desarrollo y producción. De este criterio se derivan otros tantos propósitos como, por ejemplo, resolver el problema que producen las cortas sequías en épocas lluviosas, poner el suelo en condiciones para producir, debido a que se mejoran las condiciones ambientales para el desarrollo del vegetal (Soubannier, 1985).

El agua es un recurso fundamental y de suma utilidad para las actividades agropecuarias. No obstante, se requiere de un aprovechamiento óptimo, considerando su escasez en algunas zonas del país. Actualmente, con la introducción de diversas tecnologías y mediante la creación de prototipos, los sistemas de riego y de almacenamiento posibilitan el uso efectivo del vital líquido

no solo para consumo, sino también para asegurar la producción de calidad, tanto a nivel de pequeños como de grandes productores (ABC Rural, 2014).

4.5. Métodos de riego

La clasificación más común de los métodos de riego, se establece de acuerdo con la forma como el agua es esparcida o distribuida sobre el suelo, dependiendo de las características topográficas, los tipos de cultivo, la disponibilidad del recurso hídrico, los costos y la posibilidad de acceder a tecnologías con altos requerimientos de inversión, entre otros factores (Lamo, s. f.).

4.5.1. Riego por superficie

Son riegos que no están afectados por las condiciones climáticas como viento, humedad ambiental, etc. como ocurre con el riego por aspersión. La calidad del agua no influye (a excepción de las sales) y es posible regar con aguas de baja calidad, no aptas para otros métodos de riego como localizado. No requieren consumo de energía, al menos desde que el agua llega a parcela. Se consume energía cuando es preciso elevarla desde el lugar de origen a menor nivel que la parcela; además es recomendable utilizar estos sistemas en terrenos con topografías o relieves llanos o con escasa pendiente (Gómez, 2010).

Este tipo de riego tiene relativamente bajos costos de inversión y no requiere consumo de energía. Si bien posee muchas pérdidas de agua por infiltración, se puede incrementar la eficiencia en el uso de la misma. Existen varias formas de regar por superficie: por surco, por melga y tendido, este último es el más ineficiente (Demin, 2014).

4.5.2. Riego presurizado

En todo sistema presurizado, el agua, que es conducida por tuberías, se encuentra con una cierta presión, llegando directamente a las plantas. Con el riego presurizado se evitan las pérdidas

por infiltración en la conducción y distribución, logrando de esa manera que exista más agua disponible para la planta (Demin, 2014).

El riego presurizado se compone por: Goteo, micro aspersion y aspersion.

❖ **Riego por goteo**

El método de riego por goteo está basado en el humedecimiento directo del suelo por medio de fuentes de agua puntuales distribuidas en la parcela y caracterizadas por tener una baja descarga, entre 1 y 10 l/h. De esta manera se humedece únicamente una pequeña parte de la superficie total del suelo y aún por debajo de esta superficie, la distribución del agua, en el volumen de suelo humedecido, no es uniforme (Franco, 2018).

Este es un método bastante eficiente de distribución del recurso hídrico, ya que su aplicación se realiza racionalmente, dependiendo de las necesidades de los cultivos. Sin embargo, su utilización depende de inversiones en tecnología, que permiten determinar la frecuencia y cantidad de agua que se debe aplicar en forma gradual (Lamo, s. f.).

❖ **Riego por microaspersión**

Según Demin (2014); citado en Aguinosa (2020), la microaspersión es la aplicación de agua al suelo en gotas pequeñas, con presiones y diámetros húmedos más bajos que la de los aspersores. Se recomienda su aplicación para el riego en cultivos, frutales, hortalizas y riego en viveros. Además, Roty, Poligowdar y Kashyap (2018) consideran que el microaspersor contribuye a conservar el agua y aumenta su eficiencia, ya que reduce la evaporación y mantiene las condiciones de humedad del suelo, para el favorable crecimiento de los cultivos y aumento de productividad de la tierra.

❖ **Riego por aspersión**

El riego por aspersión es un sistema que consiste principalmente en la distribución del agua en forma de lluvia sobre el suelo agrícola, para esto se utilizan dispositivos emisores de agua, también conocidos como aspersores, los cuales generan un chorro de agua pulverizada que llega al terreno de forma uniforme y en círculos. Estas superficies mojadas dependen de los tamaños de los diámetros de los aspersores que se utilicen en el sistema de riego (Stacey, 2012).

El agua puede ser expulsada por medio de los aspersores debido a que está dotada de presión, gracias a un sistema de bombeo o a la diferencia de nivel del terreno. Además la longitud de la red de tuberías que transportan el agua por el terreno hacia los aspersores depende de las dimensiones y de la disposición de los aspersores dentro de la parcela que se va a regar, por lo tanto la ubicación de estos dispositivos en el terreno se realiza de manera que se tenga cubierto de la forma más homogénea todo el cultivo (Stacey, 2012).

En el método por aspersión el agua destinada al riego se hace llegar a las plantas por medio de tuberías y mediante unos pulverizadores, llamados aspersores y, gracias a una presión determinada, el agua se eleva para que luego caiga pulverizada o en forma de gotas sobre la superficie que se desea regar. En esta modalidad de riego no se requiere mojado previo de la parcela, dada la simultaneidad en la aplicación de agua en el primero y el último aspersor sobre el lateral (Lamo, s. f.).

- **Características de los aspersores**

Según Pereira (2010), los aspersores se caracterizan especialmente por: la presión de funcionamiento P (KPa) o por la altura de presión H (m) necesaria para proporcionar la mejor distribución de agua; el caudal (l/s o m^3/ha) correspondiente a una presión dada P , el diámetro

del círculo mojado D_w (m), o el radio de alcance R_w (m), con $R=D_w/2$, correspondiente a cada presión y caudal (P, q).

- **Ventajas**

Con este método de riego es necesaria poca mano de obra, debido a que se puede automatizar el sistema, además de no tener que ser tan calificada como para otros métodos de riego. No necesita la construcción de canales y acequias en el terreno ni de nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas. Se puede regar con aguas ácidas, debido a que proporciona una gran oxigenación del agua (Miranda, 1984).

Dosifica de forma rigurosa los riegos ligeros, lo cual es importante en la nacencia para ahorrar agua. En algunas modalidades permite el reparto de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios, así como la lucha contra heladas. Este sistema se caracteriza porque se lo puede utilizar en una gran diversidad de suelos, incluso en suelos con texturas ligeras, con alta infiltración y baja capacidad de retención, siendo a la vez muy adaptable a rotaciones de cultivos.

La eficiencia que se logra regando por aspersion es alta en relación a los sistemas de riego por superficie. Además, no se requieren mayores habilidades por parte del regante de su utilización eficiente.

- **Desventajas**

El aporte de agua en forma de lluvia puede tener efectos negativos sobre algunos cultivos, ya que al humedecerse la parte aérea aumenta el riesgo de desarrollo de enfermedades y salinidad en el cultivo. Interferencia sobre los tratamientos por el lavado de los productos, es necesario establecer una correcta programación de riegos. Mala uniformidad en el reparto de agua por la acción de fuertes vientos. Altas inversiones iniciales y elevados costes de funcionamiento y energía (Miranda, 1984).

- **Componentes del sistema de riego por aspersión**

Fuente de agua: El riego por aspersión requiere de un caudal continuo que puede provenir de una fuente superficial o subterránea y de la que se debe tener en cuenta, la ubicación, la calidad del agua y el caudal. En cuanto a la ubicación; los factores que influirán en el diseño son: el desnivel, la distancia y los accidentes topográficos entre la fuente de agua y el terreno a regar. En la calidad del agua se deberá conocer sobre el contenido de sedimentos, materia orgánica y sales (Baroja, 2014).

Fuente de energía: Gallegos (2016) menciona que la fuente de energía puede ser de dos tipos: de equipo de bombeo encargado de proporcionar agua a presión. En algunas zonas no resulta necesario este equipo ya que se dispone de presión natural.

Grupo de bombeo: Consiste básicamente en un conjunto motor- bomba, de características ajustadas a las necesidades de caudal y presión del equipo a instalarse y que utiliza como fuente de energía cualquier combustible tradicional, que en orden de eficiencia serían: electricidad, gasolina y diésel.

Desnivel topográfico: Se utiliza la presión de la gravedad que viene a ser, por el diferencial de elevación o altitud en el terreno, la misma que representa a la máxima energía disponible en el sistema, para llevar el agua hacia un determinado punto.

Redes de conducción y distribución: Según Vallecillo Kühn (1999); citado en Guamán (2021), las redes de conducción y distribución son tuberías encargadas de llevar el agua hacia los aspersores, se componen de tuberías principales, son las que toman el agua directamente de la fuente de agua hasta la primera derivación de los caudales que se dirigen a las distintas subunidades; tuberías laterales o secundarias, son las que abastecen de agua a las subunidades continuas o a los aspersores, que, a su vez, se encargan de regar el agua en la parcela, se fabrican

de aluminio o de plástico PVC; y, también existen las tuberías terciarias, conocidas como múltiples y distribuyen el agua dentro de la unidad de riego.

Aspersores: Son dispositivos que funcionan a presión y lanzan chorros de agua al aire que cae a los cultivos en forma de lluvia.

Son elementos provistos de una o más boquillas montadas sobre un cuerpo central por la que sale el agua a presión. El movimiento del aspersor es provocado por la presión del agua que, al salir, se dispersa en forma de gotas mojando una superficie más o menos circular, cuyo alcance depende de la presión del agua y del tipo de aspersor (Ramos & Báez, 2013).

Guamán (2021) manifiesta que los aspersores se clasifican:

- Según el mecanismo de giro: aspersores de impacto o martillo, hélice, giro rápido, giro parcial, turbina o engranaje y rotativos o de reacción.
- Según el área mojada: aspersores circulares y sectoriales.
- Según el número de boquillas: aspersores de una, dos y tres boquillas.
- Según la trayectoria o ángulo de salida del chorro: aspersores de ángulo bajo ($\leq 25^\circ$) y de ángulo normal (25° a 45°).
- Según la presión de trabajo: aspersores de baja presión (10 a 25 mca), media presión (25 a 40 mca) y alta presión o cañones (mayor a 40 mca).

Elevador: Son tubos rectos que conectan la tubería lateral y el aspersor. Se utiliza para romper la turbulencia que se presenta cuando el agua pasa de la tubería (lateral) al aspersor. Esta se presenta porque hay un cambio brusco en la dirección del agua. Si la turbulencia no es disipada se puede presentar un rompimiento del chorro del agua en el aspersor, lo que ocasiona que el alcance del mismo se disminuya (Lamo, s. f.).

Tabla 3

Valores para determinar la altura mínima del elevador según el caudal.

Caudal (l/s)	Altura mínima del elevador (m)
Menor de 0,63	0,15
0,63 – 1,57	0,23
1,57 – 3,15	0,31
3,15 – 7,60	0,46
Mayor a 7,60	0,92

Fuente (Lamo, s. f.)

Accesorios: En un sistema de riego por aspersión se pueden necesitar una serie de elementos que facilitan las derivaciones, conexiones, reducciones, control de presión, etc. Dentro de los accesorios se encuentran los codos, tes, reducciones, válvulas, crucetas, etc (Lamo, s. f.).

- **Clasificación de los sistemas de riego por aspersión**

Según Solís & Yacelga (2018), los sistemas de riego por aspersión se dividen en 2 grupos: en sistemas estacionarios y sistemas mecanizados.

➤ **Sistemas estacionarios:** Este sistema permanece en la misma posición mientras se da riego a los cultivos y estos pueden ser: sistema móvil, sistema semifijo y sistema fijo o de cobertura total.

Sistema móvil: Todos los elementos pueden moverse, ninguno de ellos es fijo. Este sistema es adecuado para áreas de riego pequeñas, riegos poco frecuentes o de emergencia en el control de heladas.

Sistema semifijo: En el que la unidad de bombeo, alguna o toda la tubería principal son fijas, mientras que las tuberías laterales son móviles. Se utiliza en cultivos anuales. Este sistema requiere de mayor cantidad de mano de obra (Solís & Yacelga, 2018).

Sistema fijo o de cobertura total: Todos los elementos se encuentran fijos, es decir siempre se ubican en un lugar específico. Este sistema requiere de poca mano de obra ya que se puede implementar llaves de paso para abrir y cerrar el paso del agua. Los sistemas fijos presentan principalmente dos desventajas que obstaculizan el trabajo de las tierras y su alto costo de inversión.

➤ **Sistemas mecanizados:** Sus elementos se desplazan continuamente durante el riego. El sistema mecanizado se emplea en cultivos en hileras que necesitan de riegos frecuentes, pero poco abundantes o cuando sea necesario eliminar las sales superficiales del suelo (Cadena, 2017).

Sistema de riego por aspersión con lateral móvil y avance frontal: Este sistema utiliza el lateral que gira y funciona como eje de un grupo de ruedas grandes que se mueven por acción de un motor. Este sistema se utiliza para cultivos hortícolas.

Sistema de riego por aspersión con lateral móvil y giro o Pivote Central: Este sistema está compuesto por un lateral móvil con una longitud de cientos de metros, que se transporta sobre ruedas, en el lateral se ubican aspersores que arrojan agua que tiene una trayectoria en el sentido de las agujas del reloj, la superficie es regada en forma circular (Solís & Yacelga, 2018).

4.6. Relación suelo agua planta

El agua es el principal constituyente de los seres vivos, entre los que se encuentran las plantas, ocupando entre el 75 % y 90 % del tejido vegetal, según la especie. A la vez es indispensable para llevar adelante procesos vitales como la fotosíntesis, hidrólisis de sustancias, regulación de la turgencia, transporte de nutrientes y sustancias hormonales, regulación de la temperatura a través de la transpiración, etc (Angella et al., 2016).

La pérdida de agua desde las plantas hacia la atmósfera circundante es el proceso conocido como transpiración. Éste movimiento del agua está generado por las diferencias de potencial

existente entre la hoja y la atmósfera, provocando un flujo de agua desde las zonas más concentradas hacia las zonas de menor concentración. La atmósfera, generalmente presenta escasez de agua mientras que ésta predomina en las plantas, generándose de esta manera el proceso transpiratorio (Núñez, 2015).

El suelo proporciona un anclaje mecánico a las plantas y es el medio en que se almacenan el agua y el oxígeno que absorben las raíces; la fracción coloidal interviene en los fenómenos de intercambio de cationes y constituye un depósito de nutrientes. Además, el suelo contiene una población microbiana y pequeños animales como insectos, nematodos, etc., cuya actividad afecta las propiedades físico-químicas del suelo. De todas estas funciones, las que más interesan a efectos del riego son naturalmente las relaciones agua-suelo que describen la retención del agua por el suelo y el movimiento de ese líquido en suelos no saturados, características que servirán de apoyo para una serie de cuestiones agronómicas y de diseño propiamente dicho (Pizarro, 1996; citado en Zapata, 2014).

El suelo es la capa superficial de la tierra y constituye el medio en el cual crecen las plantas. Es capaz de aportar los nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales y almacenar agua de lluvias cediéndole a las plantas a medida que la necesitan (INIA, 2015).

El suelo tiene cuatro grupos de componentes: materia mineral, materia orgánica, agua y aire.

4.7. Parámetros hidrofísicos del suelo que intervienen en un sistema de riego

El conocimiento de estos parámetros permite mejorar las actividades agrícolas vitales como el laboreo, la fertilización, el drenaje, la irrigación, la conservación del suelo, agua y el manejo de residuos y cosechas. En un proyecto de riego los parámetros hidrofísicos del suelo y los requerimientos hídricos de la planta influyen en la capacidad de almacenamiento de agua, en el

grado de captación de agua del suelo, en el enraizamiento y en la cantidad de agua que requiere el cultivo, además sirve para poder aplicar eficazmente el riego adecuado a los cultivos en determinados suelos (L. L. Burbano et al., 1999).

- **Textura**

Para fines de diseño de proyectos de riego, la textura es un parámetro hidrofísico que regula el flujo de agua y sobre todo la capacidad de retención e influye en la capacidad de almacenamiento.

Los suelos arenosos retienen más agua aprovechable que los arcillosos, porque en estos se aloja mucho líquido entre las partículas. Así mismo en el punto de marchitamiento permanentemente, el contenido de humedad de algunos suelos arcilloso es bastante alto. La textura gobierna el comportamiento físico y químico de los suelos, dándole al suelo mayor capacidad productiva (L. L. Burbano et al., 1999).

Es la distribución de las partículas del suelo, expresada en porcentaje. Estas partículas son: la arena ($2 - 0,02$ mm), el limo ($0,02 - 0,002$ mm) y la arcilla ($< 0,002$). Esta característica influye sobre la velocidad de infiltración del agua, la facilidad de preparación o laboreo del suelo, el drenaje, etc (Carvajal, 1997).

- **Densidad aparente**

Para proyectos relacionados al riego es necesario conocer la densidad aparente para calcular la lámina de riego, puesto que es complejo medir por medios el volumen del agua que existe en forma de humedad del suelo, en un volumen dado del mismo.

Según Blake (1965); citado en L. L. Burbano et al. (1999), la densidad aparente de un suelo varía con las operaciones de labranza, siendo alta si el suelo está compacto y es baja si no es compacto y un suelo arenoso es mayor que un suelo arcilloso.

Tabla 4

Densidad aparente en función de la textura.

Textura	Densidad aparente (Da) (g/cm³)
Arenoso	1,60 – 1,80
Franco arenoso	1,50 – 1,60
Franco	1,40 – 1,50
Franco arcilloso	1,30 – 1,40
Arcilloso	1,20 – 1,30

Fuente: (Campero, s. f.)

- **Densidad real**

Según Cisneros (2003); citado en Guamán (2021), la densidad real de un suelo, es la relación que existe entre el peso de éste, en seco (Pss) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (Vp) y se expresa en g/cm³. Se puede considerar casi constante debido a que varía de 2,60 a 2,75 g/cm³.

- **Porosidad**

La porosidad está íntimamente relacionada con la agregación y con la estructura de los suelos. De la porosidad dependerán importantes propiedades y procesos físicos en los suelos como la retención y el movimiento de agua, la aireación y la transferencia de oxígeno en el medio radical y la facilidad con que las raíces puedan penetrar en el suelo (L. L. Burbano et al., 1999).

El valor de la porosidad representa el contenido del agua en estado de saturación, los valores típicos en arena son de 30 %, suelo franco de 50 % y arcilla de 65 % (Guamán, 2021).

- **Profundidad**

Mientras más profundo sea el espesor del suelo, afirmará mejor la planta, las raíces podrán extenderse más, podrá almacenar más agua, no tendrá problema para ararlo o nivelarlos si fuera necesario, se podrá implementar cualquier método de riego (Baroja, 2014).

La profundidad radical del suelo se puede definir como la profundidad a la cual pueden llegar las raíces de las plantas sin obstáculos físicos ni químicos, tales como nivel freático, capas endurecidas, arenas sueltas, arcillas impermeables, presencia de sales o sodio. Todos estos fenómenos físicos afectan en menor o mayor grado el desarrollo de las raíces de las plantas, la disponibilidad de agua en el suelo y determinan en forma secundaria, la lámina de agua que se requiere en un momento dado para el riego de un cultivo (L. L. Burbano et al., 1999).

Según Cadena (2016), en un suelo bien profundo se puede implementar cualquier método de riego, la profundidad efectiva en suelos profundos es de 1 m o más, en moderadamente profundos de 0,60 m y en suelos poco profundos menos a 0,25 m.

- **pH del suelo**

El pH (potencial de hidrógeno) determina el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo. El valor del pH en el suelo oscila entre 3,5 (muy ácido) a 9,5 (muy alcalino). Los suelos muy ácidos (< 5,5) tienden presentar cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso. Los suelos muy alcalinos (> 8,5) tienden a dispersarse. La actividad de los organismos del suelo es inhibida en suelos muy ácidos y para los cultivos agrícolas el valor del pH ideal se encuentra en 6,5 (FAO, 2020).

4.8. Energía de agua en el suelo

La retención de agua, el movimiento, la absorción por la planta y la evaporación, entre otros, siempre están relacionados con fenómenos de energía. La física clásica reconoce dos tipos de energía: cinética y potencial; la energía cinética es despreciable dado que el agua del suelo se mueve muy lentamente; la energía potencial, la cual se debe a la posición, es la que principalmente determina el movimiento del agua del suelo (García et al., 2010).

La diferencia en la energía potencial del agua entre dos puntos, da la tendencia a fluir dentro del suelo. El movimiento seguirá la tendencia universal desde un punto donde la energía potencial sea más alta a otro donde sea más baja. Conocer el estado energético es muy importante para determinar la dirección y la velocidad con que se mueve (García et al., 2010).

4.8.1. Potencial total (ψ_t)

Es definido como el trabajo requerido para transferir una unidad infinitesimal de agua, desde un estado de referencia (donde el potencial es tomado como cero) a la situación donde el potencial tiene un valor definido. Si el potencial agua de la planta es capaz de realizar trabajo y vencer el potencial con que el agua está retenida, ésta es absorbida por la planta. Por otra parte, una vez que el agua que rodea a la raíz es absorbida por la planta, la zona vecina a la raíz se seca, al secarse produce un estado energético diferencial con otro punto del suelo, y al generarse este estado el agua migra desde ese punto buscando el equilibrio.

El potencial hídrico total del agua del suelo le da el valor del nivel energético con que se encuentra retenida el agua en el suelo. A partir de allí conociendo ese nivel energético, se puede comprender porque el agua puede moverse dentro del suelo, porque la planta la puede tomar, etc (García et al., 2010).

El potencial total de agua en el suelo puede obtenerse a partir de la suma de cada uno de los potenciales parciales:

Potencial total = pot. gravitatorio + pot. mátrico + pot. osmótico + pot. de presión.

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_o + \Psi_p$$

- **Potencial mátrico (ψ_m)**

El potencial mátrico es la parte del potencial total que se debe a las fuerzas de atracción del agua por la superficie de las partículas sólidas del suelo, y a las fuerzas de atracción molecular entre las propias moléculas del agua. El conjunto de estos dos tipos de fuerzas hace que el agua sea retenida por adsorción (por la matriz del suelo) y por capilaridad (por las mismas moléculas de agua) en suelos con un contenido hídrico por debajo del nivel de saturación. El potencial mátrico es el más importante de los componentes del potencial total desde el punto de vista agronómico (Anguella et al., 2016).

- **Potencial gravitacional (ψ_g)**

Es la parte del potencial total que se debe a la fuerza de la gravedad. Su valor depende de la altura sobre el nivel de referencia. Según elijamos la altura a la que se sitúa el nivel de referencia, los potenciales gravitatorios serán positivos o negativos. Para alturas de referencia superiores al punto considerado, los potenciales serán negativos, en caso contrario serán positivos (Anguella et al., 2016).

- **Potencial osmótico (ψ_o)**

Es la porción del potencial hídrico total que puede ser atribuida a la atracción de los solutos que están contenidos en la solución del suelo. La presencia de solutos disminuye la energía potencial en relación al agua pura. Es por eso que el potencial osmótico es siempre negativo y es de gran importancia en suelos salinos (García et al., 2010).

- **Potencial presión (ψ_p)**

Es la parte del potencial total que se debe a la existencia de presiones distintas a las del punto de referencia, como por ejemplo ocurre en los suelos saturados, por la presión de la columna de agua. Si el punto en cuestión está por debajo del nivel freático, Ψ_p es positivo, mientras que en suelos no saturados se considera nulo (Anguella et al., 2016).

4.9. Curva de retención del agua en el suelo

Tavera et al. (2015) enfatiza que la curva de retención del agua en el suelo es la variación de la succión con la capacidad de retención del agua en los macro y micro poros del suelo. Los valores corresponden al tipo de suelo, con una determinada densidad, y la naturaleza de esa relación está directamente asociada a la granulometría y mineralogía del suelo. De una forma general, la geometría de los poros, la magnitud y composición mineralógica de la fracción fina son determinantes en la posición relativa, forma e inclinación de la curva.

Las curvas de retención de humedad (CRH) en el suelo expresan la relación existente entre el contenido de humedad y su potencial matricial, además reflejan la capacidad del suelo para retener agua en función de la succión; dicha relación depende de los factores relacionados con la porosidad del suelo (Bejar Pulido et al., 2020).

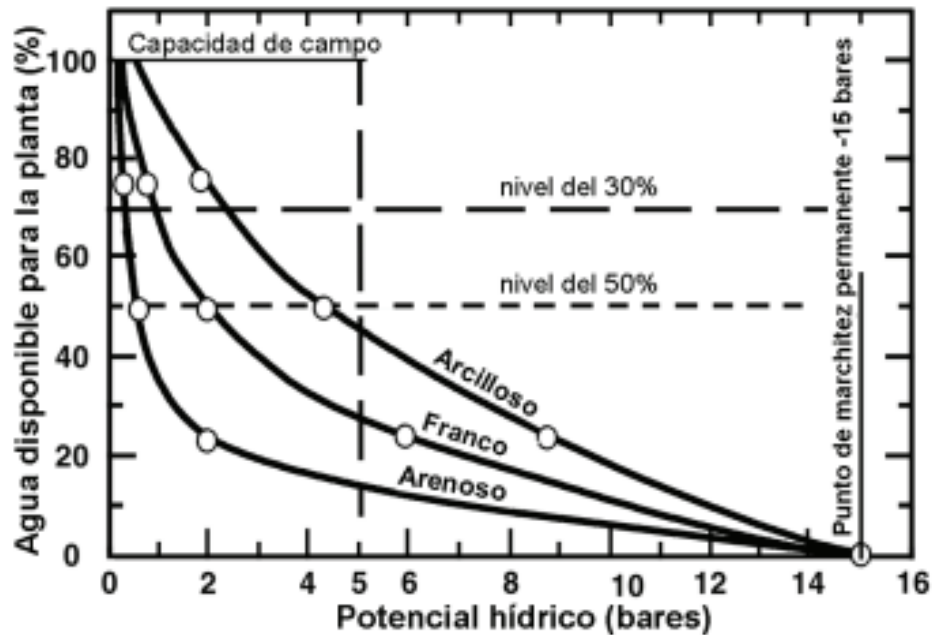
Jiménez (2019) argumenta que la curva de retención es la relación que existe entre el contenido de humedad en el suelo en términos de volumen y el potencial de retención de agua en el suelo. El potencial significa la energía que la planta utiliza para extraer el agua desde el suelo a un determinado nivel de humedad.

Según Silva et al. (2015); citado en Guamán (2021), la curva de retención del agua del suelo presenta un límite húmedo y seco; y se obtiene al graficar el contenido de agua del suelo (eje

de las Y) versus la tensión o potencial mátrico (eje de las X), sometiendo el suelo a presiones de 0,33 y 15 bares (Fig. 1).

Figura 1

Curva de retención del agua en el suelo para tres tipos de suelos característicos.



Fuente: (Martin, 2021)

Desde el punto de vista del riego de los cultivos interesa 2 puntos claves: La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. La capacidad de campo corresponde a un estado energético del agua en el suelo entre 0,1 y 0,3 bares, dependiendo del tipo de suelo y cultivo; mientras que el punto de marchitez permanente corresponde a un estado energético entre 15 a 16 bares dependiendo del tipo de suelo y cultivo; estas cifras representan a valores negativos, pues expresan el nivel de succión o retención del agua por el suelo, pero que por fines prácticos, normalmente se expresan como si se tratasen de cifras positivas (Vásquez et al., 2017).

El rango de humedad disponible entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente constituye lo que se llama: humedad aprovechada total del agua en el suelo.

4.9.1. Contenido de agua en el suelo

Silva et al. (2015) enfatiza que el suelo es una matriz sólida, no rígida, compuesta de aproximadamente 50 % de partículas minerales y orgánicas y 50 % de espacio poroso ocupado por aire (25 %) y agua (25 %), se la calcula con la siguiente ecuación algebraica:

$$Vt = Vs + Va + Vw$$

$$Vt = Vs + Vp \rightarrow Vp = Va + Vw$$

Donde:

Vt = Volumen total (cm^3)

Vs = Volumen de suelo (partículas) (cm^3)

Va = Volumen de aire (cm^3)

Vw = Volumen de agua (cm^3)

Vp = Volumen de poros (cm^3)

La condición hídrica del sistema suelo se describe a través del contenido y energía libre del agua, siendo estos factores los que afectan directamente el comportamiento vegetal. Las propiedades físicas del suelo como densidad aparente, textura y porosidad, entre otras, están relacionadas con la productividad de los cultivos porque modifican el almacenamiento de agua en suelo y su movimiento (Silva et al., 2015).

Según Guamán (2021), el agua del suelo se clasifica en agua de drenaje contenida en los macroporos; agua útil o disponible por los cultivos contenida en los microporos; y agua higroscópica o agua inerte que no puede ser utilizada por los cultivos. Además, el contenido de agua del suelo se expresa en términos gravimétricos (w) y/o volumétricos (θ).

Contenido gravimétrico (w): Es la masa de agua por unidad de masa de suelo seco y se la determina mediante la siguiente ecuación algebraica:

$$W = \frac{M_w}{M_s} \rightarrow M_w = M_t - M_s$$

Donde:

M_t = Masa de suelo total (g)

M_w = Masa de agua del suelo (g)

M_s = Masa de suelo seco (g)

Contenido volumétrico (θ): Es el volumen de agua (V_w) por volumen de suelo (V_t), también puede ser calculado a partir del contenido gravimétrico de agua y la densidad aparente del suelo.

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = w * D_a$$

En un balance hídrico, las entradas y salidas de agua del suelo se expresan en términos de altura de agua (h) o columna de agua, esto se logra multiplicando el contenido volumétrico de humedad y la profundidad del suelo (Silva et al., 2015).

$$h = \theta * profundidad$$

4.9.1.1. Niveles de humedad del suelo.

Determinadas por el contenido de agua en el suelo, puesto que son de gran importancia para realizar los cálculos de riego.

- **Saturación**

Es el contenido de humedad cuando los poros del suelo se han llenado, sucede luego de una lluvia o riego abundante, en suelos saturados hay ausencia de aire y cualquier cantidad adicional de agua escurrirá, se encharcará o se eliminará por gravedad hacia las capas más profundas (Aguinsaca, 2020).

- **Capacidad de campo (CC)**

La capacidad de campo corresponde a la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la acción de la gravedad. Es decir, aquella agua que queda en un suelo después de un episodio de lluvia abundante y/o riego pasadas 24-48 h (se evapora parte del agua), cuando el agua gravitacional de flujo rápido ya se ha perdido (Pachés, 2011).

Es el contenido de agua que permanece en el suelo dos o tres días después que ha sido saturado y el drenaje libre ha cesado a cubierta de la evaporación. En este punto la energía con que es retenida el agua es del orden de los 0,1 a 0,5 bares, pF: (2,7), 30 a 33 Kpa (según los suelos) (García et al., 2010).

- **Punto de marchitez permanente (PMP)**

El punto de marchitez permanente se alcanza cuando el suelo se deseca a un nivel tal que el agua que queda está retenida con una fuerza de succión mayor que la de absorción de las raíces de las plantas. Las plantas por lo tanto no pueden absorber el agua del suelo y experimentan un marchitamiento irreversible (Pachés, 2011).

Es el contenido de agua de un suelo al cual la planta se marchita y ya no recobra su turgencia al colocarla en una atmósfera saturada durante 12 horas. Por convención corresponde al contenido de agua a una tensión o potencial mátrico de 15 bares. El contenido de agua a CC y a PMP cambia dependiendo la textura del suelo, siendo mayor en suelos con textura arcillosa y menor en suelos con textura arenosa (Tabla 5) (Silva et al., 2015).

Tabla 5

Contenido de agua a CC y PMP en distintas texturas.

Clase textural	CC (%)	PMP (%)
Arcilla	23-46	13-29
Franco Arcillosa	18-23	9-10
Franca	12-18	4-11
Franco Arenosa	8-13	4-6
Arena	5-7	1-3

Fuente: (Silva et al., 2015)

- **Agua útil o disponible para la planta**

El agua disponible para las plantas (Humedad Aprovechable) se encuentra entre el agua gravitacional y el agua no disponible y está retenida por fuerzas capilares. Los límites para la humedad aprovechable son los contenidos de humedad a Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) y se expresan en contenido gravimétrico (Silva et al., 2015).

Figura 2

Agua disponible en el suelo.



Fuente: (Pachés, 2011)

4.10. Movimiento del agua en el suelo

El agua del suelo está sometida a dos tipos de fuerzas de acciones opuestas. Por un lado, las fuerzas de succión retienen el agua en los poros, mientras que la fuerza de la gravedad tiende a desplazarla a capas cada vez más profundas. De esta manera si predominan las fuerzas de succión el agua queda retenida, mientras que si la fuerza de la gravedad es más intensa el agua se mueve hacia abajo.

4.10.1. Infiltración

Es el proceso mediante el cual se incorpora el agua al suelo, desde la superficie de mismo hacia las capas más profundas, en sentido predominantemente vertical. Este proceso puede producirse naturalmente (por lluvia o anegamiento) o ser provocado por el hombre por aplicación de riego superficial por gravedad, por aspersion o por goteo. La importancia de su conocimiento para la ingeniería del riego es fundamental para el control de la recarga al perfil del suelo del agua perdida por evapotranspiración, así como también para el manejo del lavado de suelos salinos y alcalinos sometidos al proceso de recuperación (Anguella et al., 2016).

Si en un suelo se agrega agua en superficie, en la capa superior los poros se llenan casi totalmente con el líquido. Este comienza a moverse a partir de una zona de transición en condiciones de flujo insaturado siguiendo el gradiente de potencial, es decir, hacia las capas más profundas del suelo. Las fuerzas mecánicas actuantes son principalmente el potencial mátrico (ψ_m) y, en menor medida, el potencial gravitatorio (ψ_g).

La velocidad con que el agua se incorpora al suelo por el proceso de infiltración depende fundamentalmente de:

- ❖ El gradiente de potencial mátrico y gravitatorio, con preponderancia del primero en las etapas iniciales y medias del proceso, y del último en la etapa final. El gradiente hidráulico tiene efecto solamente en el movimiento del agua en la zona de saturación.
- ❖ Los valores de conductividad hidráulica en condiciones de flujo saturado e insaturado, en cuya determinación tiene influencia: la geometría del espacio poroso y su estabilidad frente al agua. Las características del fluido, principalmente densidad, viscosidad y composición físico-química. Las características del perfil del suelo, principalmente textura, estructura (grado y estabilidad), coloides (tipo, cantidad y estabilidad frente al agua), estratificación, presencia de capas limitantes, humedad actual (contenido y distribución en el perfil), salinidad, pH, temperatura, laboreo, actividad radicular, actividad de la fauna y la microflora.

Ruíz & Martínez (2015); citado en Jiménez (2019) argumenta que la velocidad de infiltración está directamente ligada a la textura del suelo con velocidades altas en suelos arenosos y bajas en suelos arcillosos. Los factores que afectan este proceso son: características del terreno o medio permeable (contenido de humedad) y del fluido que se filtra.

4.11. Diseño Agronómico

Según Solis & Yacelga (2018), el diseño agronómico tiene como principal objetivo garantizar que la instalación del sistema de riego tenga la capacidad de suministrar la cantidad suficiente de agua a los cultivos, con una excelente eficiencia en la aplicación del agua y se desarrolla en tres fases:

- Cálculo de las necesidades de agua del cultivo.
- Determinación de parámetros de riego como: dosis, frecuencias, tiempo de riego, número de aspersores, etc.

- Disposición de los emisores en el campo.

4.11.1. Cálculo de las necesidades de agua del cultivo

Consiste en calcular la evapotranspiración del cultivo para ser compensadas a través del riego.

- **Evapotranspiración**

También conocido como uso consuntivo de agua, es la cantidad de agua transpirada por el cultivo y evaporada desde la superficie del suelo donde se asienta el cultivo (Zapata, 2014).

Es el proceso de flujo de agua hacia la atmósfera proveniente de la evaporación del agua del suelo y de la transpiración de las plantas. Es complejo y depende no sólo de los elementos físicos (climáticos) que afectan la evaporación, sino también de las características morfológicas y fisiológicas de la cobertura vegetal, del suelo y de su nivel de humedad (Vásquez et al., 2017).

- **Evapotranspiración de referencia (Eto)**

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas, se la puede calcular a partir de datos meteorológicos expresada en mm/día (Santana, 2008).

Métodos para determinar la evapotranspiración de referencia: Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, se utilizan dos métodos (Soubannier, 1985).

- Directos: Son aquellos basados en el establecimiento de un balance hídrico (medida de la entrada y salida de agua en el sistema suelo), obtenido a través de la medición de la humedad después y antes de cada riego. Los métodos directos más conocidos son los siguientes; el lisímetro, el evaporímetro de Thornthwaite y el gravimétrico, que determina en forma directa el uso consuntivo.

- Indirectos: Estos métodos pueden ser teóricos o experimentales. Los métodos teóricos se basan en la relación de diferentes elementos climatológicos con respecto a la evapotranspiración, usando diferentes fórmulas empíricas, entre las cuales tenemos: Thornthwaite, Turc, Hansen, Penman- Monteith, Criddle entre otros.

- **Coefficiente de cultivo (Kc)**

Se conoce como Kc, un valor dependiente de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la planta. El Kc varía según el periodo de crecimiento de la planta y del clima determinado, depende de la capacidad de la planta para extraer agua del suelo, según su estado de desarrollo vegetativo (Soubannier, 1985).

- **Índice de humedad**

Según Guamán (2021), el índice de humedad se determina de acuerdo a los meses que presenten mayor déficit y exceso de agua, en el que se emplea la precipitación del lugar y la evapotranspiración de referencia.

Gallegos (2016) menciona que el índice de humedad es un estimador de la humedad disponible, el cual nos indica que existe escasez de agua, si es menor a 1, o exceso de agua si es mayor que 1.

- **Requerimientos hídricos del cultivo**

Guamán (2021) menciona con base a dos condiciones propuestas por la FAO (1993) que para la determinación de los requerimientos hídricos del cultivo se lo calcula en relación a la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva.

- **Evapotranspiración del cultivo (Etc)**

Es el requerimiento de agua que tiene el cultivo a regar en cada fase fenológica. Se lo puede calcular a partir de la evapotranspiración del cultivo de referencia y del coeficiente de cultivo, a través de la siguiente fórmula matemática (Jiménez, 2019).

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETo = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kc = Coeficiente del cultivo

4.11.2. Determinación de parámetros de riego

- **Láminas de riego**

Puede definirse como la cantidad de agua que es necesario dar en un riego para elevar el contenido de humedad de la zona radicular desde un valor inferior correspondiente a la fracción de agotamiento, hasta un valor superior que coincida con la capacidad de campo (CGAPE, 2017).

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

Expresa la lámina de agua que un suelo puede almacenar entre los límites de capacidad de campo y punto de marchitez permanente a la profundidad radical efectiva del cultivo estudiado (L. Burbano et al., s. f.).

- **Umbral de riego**

Según CONADI (2017); citado en Aguiñaca (2020), para la determinación de la humedad aprovechable (HA) o agua útil (AU), se debe fijar un Umbral de Riego (UR) que varía entre un 20 % a 60 %, el cual es fijado dependiendo del tipo de suelo y el tipo de riego, en un suelo arcilloso el UR será mayor que en un arenoso.

A través de experiencias se ha demostrado que no se debe de permitir que los cultivos consuman el 100% de humedad aprovechable o disponible en el suelo, es decir que no se debe admitir que la humedad del suelo baje desde capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente, porque la producción del cultivo disminuirá (Silvestre, 2015).

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

Es la cantidad de agua consumida por la planta entre dos riegos consecutivos, siendo la cantidad de agua que se debe aplicar en cada riego por unidad de superficie, entre los puntos de umbral de riego y capacidad de campo (Jiménez, 2019).

- **Lámina de riego o lámina total**

Según Maldonado (2012); citado en Gallegos (2016), es la cantidad total de agua que se entrega por riego a la superficie del terreno, de manera que asegure la suficiente entrega de agua, está en función de la eficiencia de aplicación del método de riego a utilizarse.

Es la lámina de agua total que necesita el cultivo tomando en cuenta la eficiencia de aplicación, que cada método de riego tiene definido. Para el riego por aspersión de 65 % a 85 % y riego localizado entre 80 % y 95 % (Monge, 2018).

- **Frecuencia de riego**

La frecuencia de riego es el tiempo transcurrido entre dos riegos sucesivos, se mide por la relación entre la lámina neta (mm) y la evapotranspiración diaria del cultivo, llamado consumo diario (Maquera, 2014).

El número de días que transcurre entre dos riegos sucesivos se llama frecuencia de riego. Va a depender del balance que se haga entre la oferta y la demanda de agua existente, es decir, de la capacidad de retención de agua del suelo por un lado y, por el otro, de la demanda de agua de la planta (Baroja, 2014).

Huber (2005); citado en Jiménez (2019) describe que la frecuencia de riego es la relación entre la disponibilidad de la lámina de agua rápidamente aprovechable de riego y la evapotranspiración del cultivo en una fase determinada, pudiendo variar en función de la evapotranspiración actual.

- **Frecuencia de riego ajustada**

Gallegos (2016) argumenta que la frecuencia de riego ajustada se presenta en el momento en que, la frecuencia de riego es muy amplia entre el número de días que transcurre para el próximo riego, esta necesita mayor cantidad de agua en aplicar a la superficie de riego calculada, y más aún cuando no se dispone de suficiente caudal para abastecer al caudal de diseño del sistema, que viene dado por el factor de operación del manejo de riego, lo que con lleva a la necesidad de optar por una obra de almacenamiento; por lo tanto es necesario en reajustar dicha frecuencia a un intervalo de días menor para un óptimo manejo práctico del agua de riego.

- **Selección del aspersor**

A la hora de seleccionar el tipo de aspersor con el que regaremos, debemos tomar en cuenta ciertas consideraciones ya que no es válido cualquier aspersor para el sistema de riego que estemos diseñando. Cada aspersor tiene su rango de funcionamiento óptimo según la presión disponible. Un aspersor pequeño funcionará mejor con presiones entre 15 y 30 mca (metros de columna de agua), mientras que un aspersor de mayor tamaño seguramente esté diseñado para funcionar óptimamente entre 25 y 70 mca de presión; sin embargo, es muy importante recalcar que la intensidad de precipitación horaria del aspersor debe ser inferior a la velocidad de infiltración básica con la finalidad de evitar que exista escorrentía superficial (Alocén, 2007).

- **Intensidad de precipitación**

Es la cantidad de agua aportada por el aspersor al suelo, por cada metro cuadrado en una hora como unidad de tiempo. La precipitación creada será siempre menor a la velocidad de infiltración del suelo; con el fin de no tener pérdida de agua por lixiviación ni escorrentía, ni tampoco provocar encharcamientos (Baroja, 2014).

- **Número de posiciones**

El número de posiciones del aspersor para cubrir la superficie de riego se la especifica como la relación entre la superficie de riego y el marco de espaciamiento entre aspersores y laterales de riego (Gallegos, 2016).

- **Tiempo de riego por posición del aspersor**

Chow (2006); citado en Jiménez (2019) menciona que es el tiempo que el emisor debe funcionar para reponer el agua consumida por el cultivo por la evapotranspiración.

- **Marco de riego y disposición de emisores en el campo**

El marco de riego es la distancia que existe entre los aspersores. Según la disposición de los aspersores el marco de riego puede ser: cuadrado, rectangular, triangular (Perea, 2015).

El espaciamiento entre aspersores es uno de los aspectos fundamentales en el diseño del sistema (Tabla 6). Heerman y Kohl (1980) recomiendan separaciones del 60 % del diámetro efectivo del aspersor para marcos en cuadrado o en triángulo y el 40 % y 75 % para marcos en rectángulo, siempre que se trate de vientos menores de 2 m/s (Tarjuelo & Benito, 2005).

Tabla 6

Separación entre aspersores en condiciones específicas del viento.

Disposición	Viento	Separación entre aspersores
	Sin viento	65 %
Espacio cuadrado o rectangular	2 m/s	60 %
	3,5 m/s	50 %
	Mayor a 3,5 m/s	30 %
	Sin viento	75 %
Espacio triangular o variable	2 m/s	70 %
	3,5 m/s	60 %
	Mayor a 3,5 m/s	30 %

Fuente: (Baroja, 2014)

La disposición de los aspersores puede ser en cuadrado, rectángulo o triángulo, cada uno se adapta a las condiciones del terreno, al viento y al sistema de riego elegido. La forma cuadrada o rectangular se adapta a terrenos de forma regulares con sistemas semi-fijo o móviles y con presencia de vientos, mientras que la disposición triangular se utiliza en terrenos irregulares y sistema fijos. Se debe de tener en cuenta que la distancia entre los aspersores y las tuberías laterales deben ser múltiplos de 6 y 9 metros por condiciones del fabricante (Solís & Yacelga, 2018).

Gulatti (2014) señala que la disposición de los aspersores (Fig. 3); pueden ser:

Disposición en cuadrado: Los aspersores ocupan los vértices de un cuadrado, siendo en consecuencia, la distancia entre los laterales igual a la distancia entre los aspersores. Los marcos más utilizados son 12 x 12 y 18 x 18m. Esta distribución es la más utilizada en los sistemas semi-fijo y móviles.

$$S = Da * Dr$$

Donde:

S = Superficie a regar (m^2)

Da = Distancia entre aspersores (m)

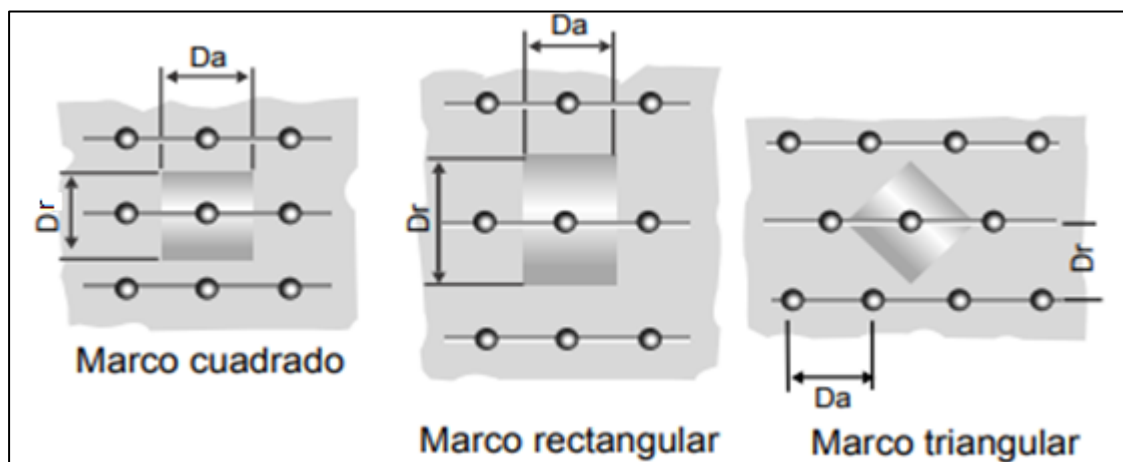
Dr = Distancia entre ramales (m)

Disposición en rectángulo: Los aspersores ocupan los vértices de un rectángulo, siendo la mayor distancia la separación de los laterales, el marco más utilizado es el de 12 x 18m. Conviene esta distribución cuando se tiene presencia de vientos.

Disposición en triángulo: Los aspersores ocupan los vértices de una red de triángulos equiláteros. Con esta disposición se necesita un menor número de aspersores, se le utiliza cuando se tiene un sistema fijo, permanente. Los marcos más utilizados son 18 x 15 y 21 x 18 m.

Figura 3

Disposición de los aspersores cuadrado, rectangular, triangular.



Fuente: (Baroja, 2014)

4.12. Diseño Hidráulico

En el diseño hidráulico se considera el dimensionamiento de las diferentes tuberías que componen el sistema en lo referente a diámetros, longitudes, caudales, presiones y velocidades. En esta etapa se toma en cuenta las condiciones técnico económicas y de preferencia del agricultor (Maquera, 2014).

El diseño hidráulico permite determinar los componentes de un sistema de riego y su dimensionamiento; mediante el correcto cálculo de la red de tuberías la optimización y eficiencia del sistema, así como el abastecimiento de agua de riego para las áreas regables generando de esta manera una mayor producción de cultivos (Solís & Yacelga, 2018).

4.12.1. Pérdidas de carga por fricción longitudinal

La pérdida de energía por fricción es debida al rozamiento del fluido con las paredes de la tubería o del conducto. Esta pérdida, continúa en la dirección del flujo, puede resultar considerable en tramos largos y, por el contrario, ser despreciable en tramos cortos (Yambombo, 2012).

Jiménez (2019) enfatiza que la pérdida de carga consiste en la pérdida de energía de un fluido, por efecto de la fricción entre el fluido y las paredes de la tubería y la velocidad del mismo. Los materiales de las tuberías empleadas en riego son policloruro vinil (PVC), polietileno (PE) y aluminio. Los factores que determinan la pérdida de carga son el caudal, diámetro interior de la tubería y coeficiente de fricción o rugosidad.

4.12.2. Pérdidas locales

Estas pérdidas se presentan en los codos, en las reducciones o ampliaciones de la tubería en las válvulas, en los orificios de medición, etc. Y son debidas a la formación de vórtices o remolinos en el flujo que implican siempre pérdidas de energía, para su respectivo cálculo se toma en consideración valores del coeficiente de cada accesorio (Tabla 7) (Luszczewski, 2004).

Tabla 7

Coefficientes para pérdidas en accesorios.

Accesorio	K
Válvula de globo completamente abierta	10,0
Válvula en ángulo completamente abierta	5,0
Válvula de registro completamente abierta	2,5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0,2
Codo de radio pequeño	0,9
Codo de radio mediano	0,75-0,8
Codo de radio grande	0,6
Codo de 45°	0,4-0,42
Codo cerrado (inversión de flujo)	2,2
Te estándar (dirección de paso)	0,6
Te estándar (dirección desvío)	1,8
Entrada recta a tope	0,5
Salida	1,0

Fuente: (Sánchez, 2017)

4.12.3. Pérdida de carga en tubería multisalida (diseño del lateral)

En los tubos laterales de riego por aspersión, se calcula las pérdidas por fricción considerando que a medida que la longitud se prolonga el caudal disminuye, generando una reducción de las pérdidas por efecto de las salidas múltiples. Este fenómeno fue estudiado por el investigador norteamericano Christiansen, quien propuso un Coeficiente de reducción por salidas (Jiménez, 2019).

En una tubería con salidas múltiples, a medida que el agua avanza, el caudal en el tubo se va reduciendo, por lo cual, la pérdida de carga por fricción en estas tuberías será de menor magnitud que la pérdida de carga en una tubería simple sin salidas con las mismas condiciones (Jiménez, 2019).

Valarezo (2013) menciona que en un lateral el caudal disminuye progresivamente debido al caudal utilizado por los aspersores, por ende, las pérdidas de fricción también disminuyen, por tal motivo es necesario corregirla. En función a la ubicación del primer aspersor se presentan tres condiciones:

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

4.12.4. Criterios para determinar el dimensionamiento de un lateral de aspersores

Monge (2018); citado en Jiménez (2019) manifiesta que para el diseño de un lateral hay que tener un control de presiones; por tal razón la diferencia de presiones máxima y mínima no debe superar el 20 % de la presión nominal del aspersor, lo que ocasiona una diferencia de caudal que no debe ser mayor al 10 %. Se la determina a partir de la siguiente ecuación:

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

Donde:

$\frac{P_o}{\gamma}$ = Presión máxima o en el origen del ramal (m)

$\frac{P_n}{\gamma}$ = Presión mínima o presión en el último aspersor (m)

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

hf = Pérdida de carga en el lateral (m)

4.12.5. Cálculo de un lateral porta-aspersores

Los ramales porta-aspersores son aquellas tuberías sobre las que se disponen los aspersores de riego (Fernández, s. f.). Se ha comprobado experimentalmente que en un lateral horizontal dicha presión media corresponde a un punto situado a 1/3 de la longitud de origen y que en el tramo que va desde el origen hasta este punto se produce aproximadamente el 75 % de la pérdida de carga total del lateral (Martín, 1991).

Según Tarjuelo y Benito (2005); citado en Gallegos (2016), con base a la posición del lateral se presentan tres casos:

- **Lateral Horizontal**

La máxima presión se presenta en el origen del lateral y la mínima en el extremo del lateral; se basa en las siguientes ecuaciones:

Ecuación de funcionamiento, se la determina con base a la siguiente expresión algebraica:

$$\frac{P_o}{\gamma} = Ha + \frac{P_n}{\gamma} + hf$$

Donde:

$\frac{P_o}{\gamma}$ = Presión en el origen del lateral (m)

Ha = Altura del porta aspersores (m)

$\frac{P_n}{\gamma}$ = Presión del aspersor al final del lateral (m)

hf = Pérdida por fricción (m)

Ecuación de diseño que limita la máxima diferencia de presión entre dos aspersores del lateral:

$$\left(\frac{P_o}{\gamma} - Ha\right) - \frac{P_n}{\gamma} = hf \leq 0,2 \frac{P_a}{\gamma}$$

Donde:

$\frac{P_o}{\gamma}$ = Presión máxima o en el origen del ramal (m)

H_a = Altura del porta aspersores (m)

$\frac{P_n}{\gamma}$ = Presión mínima o presión en el último aspersor (m)

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

h_f = Pérdida de carga en el lateral (m)

Presión máxima o en el origen del lateral expresado mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \left(\frac{3}{4}\right) h_f + H_a$$

Presión mínima o presión en el último aspersor se la determina mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \left(\frac{1}{4}\right) h_f$$

- **Lateral ascendente**

Se caracteriza porque la máxima presión se presenta en el origen del lateral y la mínima en el extremo del lateral; y cuando existen laterales ascendentes, se considera como positivo el desnivel geométrico entre los extremos del ramal.

La ecuación de funcionamiento se la determina mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{P_o}{\gamma} = H_g + H_a + \frac{P_n}{\gamma} + h_f$$

Donde:

H_g = Desnivel geométrico entre los extremos del ramal.

Ecuación de diseño está dada por la máxima diferencia de presión entre los aspersores extremos del ramal, se la determina de la siguiente manera:

$$\left(\frac{Po}{\gamma} - Ha\right) - \frac{Pn}{\gamma} = hf \leq 0,2 - Hg$$

Presión máxima o en el origen del lateral, se la expresa mediante la siguiente fórmula algebraica:

$$\frac{Po}{\gamma} = \frac{Pa}{\gamma} + \left(\frac{3}{4}\right)hf + \frac{Hg}{2} + Ha$$

Presión mínima o presión en el último aspersor se la expresa a continuación:

$$\frac{Pn}{\gamma} = \frac{Pa}{\gamma} - \left(\frac{1}{4}\right)hf - \frac{Hg}{2}$$

- **Lateral descendente**

Valarezo (2013) señala que, en el lateral descendente, la presión máxima se puede dar en uno de sus extremos; y, la mínima en cualquier punto, excepto en el extremo aguas abajo en el final del lateral.

Se presentan tres casos de acuerdo a la pendiente del terreno: cuando el ramal es descendente: $hf > Hg$; $hf = Hg$ y $hf < Hg$.

Primer caso $hf > Hg$

La presión máxima se encuentra aguas arriba del origen del lateral, se determina mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación de funcionamiento se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{Pa}{\gamma} + Hg = Ha + \frac{Pn}{\gamma} + hf$$

Donde:

$\frac{Pa}{\gamma}$ = Presión en el origen del lateral (m)

Ha = Altura del porta aspersores (m)

$\frac{P_n}{\gamma}$ = Presión del aspersor al final del lateral (m)

hf = Pérdida por fricción (m)

Hg = Desnivel geométrico entre los extremos del lateral (m)

Ecuación de diseño está dada por la máxima diferencia de presión que corresponde a los aspersores extremos, y está definida por la siguiente expresión:

$$\left(\frac{P_o}{\gamma} - Ha\right) - \frac{P_n}{\gamma} = hf \leq 0,2 \frac{Pa}{\gamma} + Hg$$

Donde:

$\frac{P_o}{\gamma}$ = Presión máxima o en el origen del ramal (m)

Ha = Altura de porta aspersores (m)

$\frac{P_n}{\gamma}$ = Presión mínima o presión en el último aspersor (m)

$\frac{Pa}{\gamma}$ = Presión nominal del aspersor (m)

hf = Pérdida de carga en el lateral (m)

Hg = Desnivel geométrico entre los extremos del lateral (m)

Presión máxima o en el origen del lateral se determina con la siguiente expresión:

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{Pa}{\gamma} + \left(\frac{3}{4}\right)hf - \frac{Hg}{2} + Ha$$

Presión mínima o presión en un punto intermedio del lateral se calcula con la siguiente expresión:

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_o}{\gamma} - t, (hf) + Ha$$

De donde:

$$t, = 1 - \left(\frac{Hg}{hf}\right) + 0,357 \left(\frac{Hg}{hf}\right)^{1,57}$$

Presión al final o en el último aspersor:

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

Segundo caso $hf = Hg$

Las presiones serán casi uniformes en todo el ramal, se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$\frac{P_n}{\gamma} \approx \frac{P_a}{\gamma} \text{ y } \left(\frac{P_o}{\gamma} - H_a\right) \approx \frac{P_a}{\gamma}$$

Tercer caso $hf < Hg$

En este tipo de diseño, se deduce que la presión mínima ocurre aguas arriba, y la presión máxima aguas abajo del lateral; se basa en las siguientes ecuaciones:

Ecuación de funcionamiento se la expresa de la siguiente manera:

$$\frac{P_o}{\gamma} + Hg = H_a + \frac{P_u}{\gamma} + hf$$

Ecuación de diseño está dada por la diferencia de presión entre los aspersores extremos.

Está definida por la siguiente expresión:

$$\frac{P_u}{\gamma} - \left(\frac{P_o}{\gamma} - H_a\right) = Hg - hf \leq 0,2 \frac{P_a}{\gamma}$$

Presión mínima o en el origen del lateral se la determina con la siguiente expresión:

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \left(\frac{3}{4}\right) hf - \frac{Hg}{2} + H_a$$

Presión máxima o en el último aspersor se la expresa de la siguiente manera:

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

4.13. Presión requerida del sistema de riego por aspersión

Vega (2010); citado en Gallegos (2016) menciona que la presión total, para que funcione el sistema de riego, es equivalente a la sumatoria de: la pérdida por fricción en la tubería (principal, múltiple, lateral), pérdidas locales, pérdida de carga del emisor de riego, y la altura del elevador.

4.14. Eficiencia de riego

La eficiencia de un sistema de riego es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la bocatoma, la cantidad de agua que es captada de alguna fuente natural de un sistema de riego está conducida a través de un canal principal y luego derivada el agua por un canal de distribución y finalmente se deriva el agua a nivel parcela para algún cultivo del productor agrario (Núñez, 2015).

La eficiencia de riego está compuesta por la eficiencia de conducción en el canal principal, eficiencia de distribución en los canales laterales y la eficiencia de aplicación a nivel de parcela, el producto de estas tres eficiencias nos determina la eficiencia de riego de un sistema (Tabla 8) (Núñez, 2015).

La eficiencia de riego es la relación que existe entre la cantidad de agua emitida por los aspersores y la cantidad de agua aprovechada, donde intervienen tres subcomponentes: eficiencia uniformidad, eficiencia aplicación y eficiencia de almacenamiento en el suelo (Núñez, 2015).

Tabla 8

Eficiencia de aplicación del agua según el método utilizado.

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

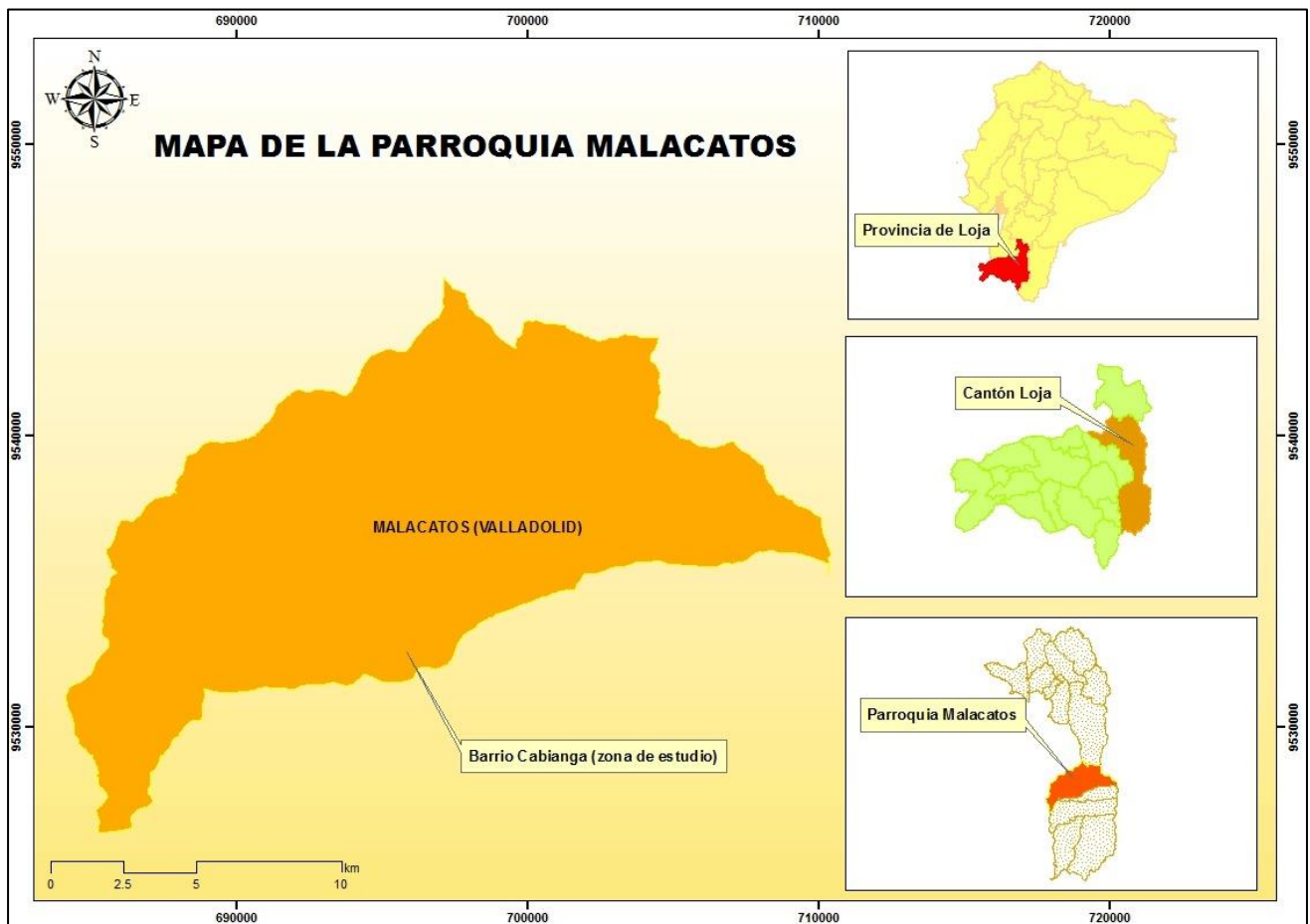
Fuente: (INIA, 2017)

5. MATERIALES Y METODOLOGÍA

5.1. Localización del área de estudio

Figura 4

Localización del área de estudio.



La parroquia Malacatos se encuentra ubicada en el sector sur oriental del cantón Loja, provincia de Loja; a 31 kilómetros de la ciudad de Loja. Limita al Norte con la parroquia urbana San Sebastián, al Sur con la parroquia rural de Purunúma del cantón Gonzanamá, al Este con la parroquia rural de Vilcabamba y al Oeste con el cantón Catamayo. Las coordenadas geográficas UTM en las que se encuentra la parroquia Malacatos son: Zona 17 S. Longitud X: 693546 Latitud Y: 9 533788 Altura Z: 1 470 m.s.n.m.

La zona de estudio se encuentra ubicada en el barrio Cabianga, perteneciente a la parroquia Malacatos (Fig. 4), se encuentra en las coordenadas planas UTM, Latitud Y: 9 532826 Longitud X: 694704, con una altitud de 1 577 msnm, el acceso se lo hace mediante una vía de tercer orden que conduce desde la vía principal Malacatos-Vilcabamba al barrio Cabianga; el sitio se encuentra a una distancia de 2,06 km de la parroquia de Malacatos y a 31,9 km desde la cabecera cantonal de Loja. Posee un clima subtropical con temperaturas que van desde 21 a 25°C y con un promedio de precipitación anual de 669,1 mm; es de propiedad del Sr. Ángel Correa, y dispone de una superficie de 0,24 ha, actualmente se utiliza como alojamiento de la vivienda familiar y en actividades productivas agropecuarias.

5.2. Materiales

Suministro de oficina: computador, software ArcGIS, software AutoCAD, papel, esferos, marcadores.

Materiales y equipos de laboratorio: balanza de precisión, estufa, cilindros Koppecky, probetas, extractor u olla de bajas presiones, autoclave, compresor, pipetas, varillas de agitación, termómetro, higrómetro.

Materiales y equipos de campo: carpeta de apuntes, calculadora, lápiz, borrador, estación total, instrumentos para determinar la textura del suelo, nivel topográfico, navegador GPS, cámara fotográfica, flexómetro, barreno, cilindros infiltrómetros, clinómetro, libreta de campo.

5.3. Metodología para el primer objetivo

“Caracterizar los componentes biofísicos y económicos productivos del predio motivo del estudio y su entorno cercano”.

Tal como lo manifiesta Crotte (2011), se han aplicado técnicas contempladas en la investigación científica en este caso encuestas (previa elaboración de cuestionario como

instrumento), observación directa como recurso para recolección de datos, describir el escenario y sus características y para investigar indicadores y relaciones entre las variables analizadas (Inés, 2011).

5.3.1. Caracterización biofísica del predio motivo de estudio

Para la caracterización de los componentes biofísicos entre ellos: relieve, geología, suelos y red hídrica; fue necesario hacer uso de información secundaria obtenida de algunas fuentes oficiales como el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia de Malacatos, Instituto Geográfico Militar (IGM), entre otras, con información puntual de la parroquia. Además de ello se realizaron visitas y trabajos de campo en el predio motivo de estudio.

- **Superficie del predio**

Se realizó el levantamiento topográfico del área de estudio para su posterior diseño de riego por aspersión; para esta actividad se utilizó un equipo de estación total, cuya información obtenida en el campo se procesó mediante los softwares ArcGIS y AutoCAD Civil 2021, para posteriormente determinar el área de riego, colindantes y curvas de nivel.

- **Propiedades hidrofísicas del suelo**

Se recolectaron las muestras de suelo disturbadas y no disturbadas con base a la superficie y características del suelo, para las muestras disturbadas se recolectaron 5 submuestras a una profundidad de 40 cm, a lo largo y ancho del terreno con la finalidad de mezclarlas en un recipiente y obtener una mezcla homogénea de las mismas; y así poder determinar los valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, agua aprovechable, textura y pH.

Para las muestras no disturbadas se procedió a recolectarlas a través de los cilindros Kopecky de 100 cm³ a una profundidad de 40 cm en relación al sistema radicular del cultivo. Entre

las propiedades que se pudieron analizar a partir de estas muestras son: densidad aparente y saturación del suelo.

- **Curva de retención de humedad del suelo**

En relación a los resultados obtenidos de los análisis hidrofísicos del suelo (punto de marchitez permanente, capacidad de campo, agua aprovechable, porosidad y densidad aparente) (Anexo 5) se construyó la curva de retención que indica la relación entre la energía del agua retenida en el suelo o potencial hídrico y el contenido de humedad con base al volumen.

- **Velocidad de infiltración del agua en el suelo**

Con el fin de poder calcular la conductividad hidráulica del suelo, se procedió a realizar pruebas de infiltración con la aplicación del método del “Doble anillo infiltrómetro”; se realizaron tres repeticiones y los datos obtenidos se procesaron mediante tablas de Excel, empleando el modelo matemático que es la ecuación de Kostiakov, misma que nos permite apreciar la velocidad de infiltración de agua en el suelo para cualquier tiempo de riego.

Infiltración acumulada:

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

Donde:

I_{cum} = Infiltración acumulada (cm)

A y B= Parámetros de la ecuación (adimensional)

t = Tiempo (min)

Infiltración instantánea:

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

Donde:

I_{inst} = Infiltración instantánea (cm)

t = Tiempo (min)

a y b = Constantes negativas (adimensional)

$$a = A(b + 1)$$

$$b = B - 1$$

Velocidad de infiltración básica:

$$I_{bas} \left(\frac{mm}{h} \right) = a[(-600b)]^b$$

- **Aforo del caudal de la fuente de agua**

La fuente que suministra agua al sistema de riego, es un ramal del sistema de riego San Pedro de Vilcabamba, mismo que abastece a los predios que se ubican en el barrio Cabianga; para el aforo del caudal se utilizó el método de la velocidad-superficie transversal (método del flotador).

El procedimiento seguido, consistió en seleccionar un tramo recto del canal de 10 m de longitud señalando la parte inicial y final del tramo seleccionado, posteriormente se utilizó una bola de espuma Flex, la cual se lanzó un poco antes de la parte inicial seleccionada con la finalidad de que esta adquiriera la velocidad del flujo al momento de pasar por la señal inicial, respectivamente se fue midiendo el tiempo, hasta que el flotador posteriormente llegó a la señal de la parte final del tramo seleccionado. Con los datos obtenidos se pudo identificar la velocidad del flujo, para esto se realizaron 3 lecturas y así obtener la velocidad media.

Para la obtención del área transversal mojada del canal se hicieron mediciones del calado y ancho de la solera en tres sitios distintos para así poder obtener un área total promedio; posteriormente se realizó una corrección el cual es relacionado a la velocidad con base al tipo de canal y la profundidad del mismo (Tabla 9). Una vez obtenida toda esta información se procedió a realizar el cálculo del caudal respectivo con la siguiente ecuación algebraica:

$$Q = A * V * Fc$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

A = Área (m^2)

V = Velocidad del flujo (m/s)

F_c = Factor de corrección (decimal)

Tabla 9

Factor de corrección del caudal.

Tipo de canal o río	Factor de corrección (F_c)
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15 cm.	0,8
Canal de tierra, profundidad del agua > 15 cm.	0,7
Río o riachuelo, profundidad del agua > 15 cm.	0,5
Ríos o canales de tierra, profundidad del agua <15 cm.	0,25 – 0,5

Fuente: (Salvatierra, 2018)

5.3.2. Caracterización económica productiva del predio

- **Reconocimiento del área de estudio y recolección de información primaria del predio**

Mediante una primera visita y entrevista con el propietario del predio se obtuvo información general básica del predio, se recolectaron datos referidos a la propiedad en general como: actividades, producción, mercado, mano de obra, ingresos.

- **Caracterización de los usuarios de riego del sector Cabianga**

Con el fin de profundizar el conocimiento de aspectos relacionados a las características del entorno en que se localiza el predio motivo del estudio, se elaboró y aplicó encuestas a la población, teniendo como elemento articulador el acceso al recurso agua de riego de los usuarios en el sector del barrio Cabianga; entre las interrogantes que se plantearon fueron las siguientes:

- ✓ Edad
- ✓ ¿Cuántos integrantes son en su familia?
- ✓ ¿Cuál es la forma de tenencia del terreno?
- ✓ ¿Qué tipo de trabajo realiza?
- ✓ ¿Qué tipo de productos produce y en qué cantidad?
- ✓ ¿En qué meses se produce?
- ✓ ¿En qué meses se cosecha?
- ✓ ¿Con qué tipo de riego cuenta su predio?
- ✓ ¿Fuente de agua?
- ✓ ¿Con qué periodicidad se riega?
- ✓ ¿Cuál es su superficie de riego?
- ✓ ¿Existe algún organismo que regule el uso del agua en la comunidad?
- ✓ ¿Cómo determina el volumen de agua que usa en su predio y cuánto usa?
- ✓ ¿En qué horario aplica el riego?
- ✓ ¿Qué personas asumen la tarea de riego?
- ✓ ¿Realiza algún pago por el uso del agua?
- ✓ ¿Dispone de autorización de uso del agua (concesión)?

La información recopilada en campo más aquella que se obtuvo mediante la aplicación de encuestas y entrevistas a los usuarios de riego del barrio Cabianga; y aquella proveniente de fuentes secundarias, una vez tabulada y procesada en el programa Excel (Anexo 1) sirvió como base para la elaboración de la caracterización económica-productiva del predio.

Para la determinación del tamaño de la muestra se tomó como referencia la fórmula recomendada por Aguilar (2005), tomando en consideración un tamaño de la población de 50 predios.

$$n = \frac{NZ^2pq}{(N - 1)e^2 + Z^2pq}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

e = Precisión de la estimación (5 %)

N = Tamaño de la población

Z = Nivel de confianza de la estimación (95 %, $Z = 1,96$)

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

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

5.4. Metodología para el segundo objetivo

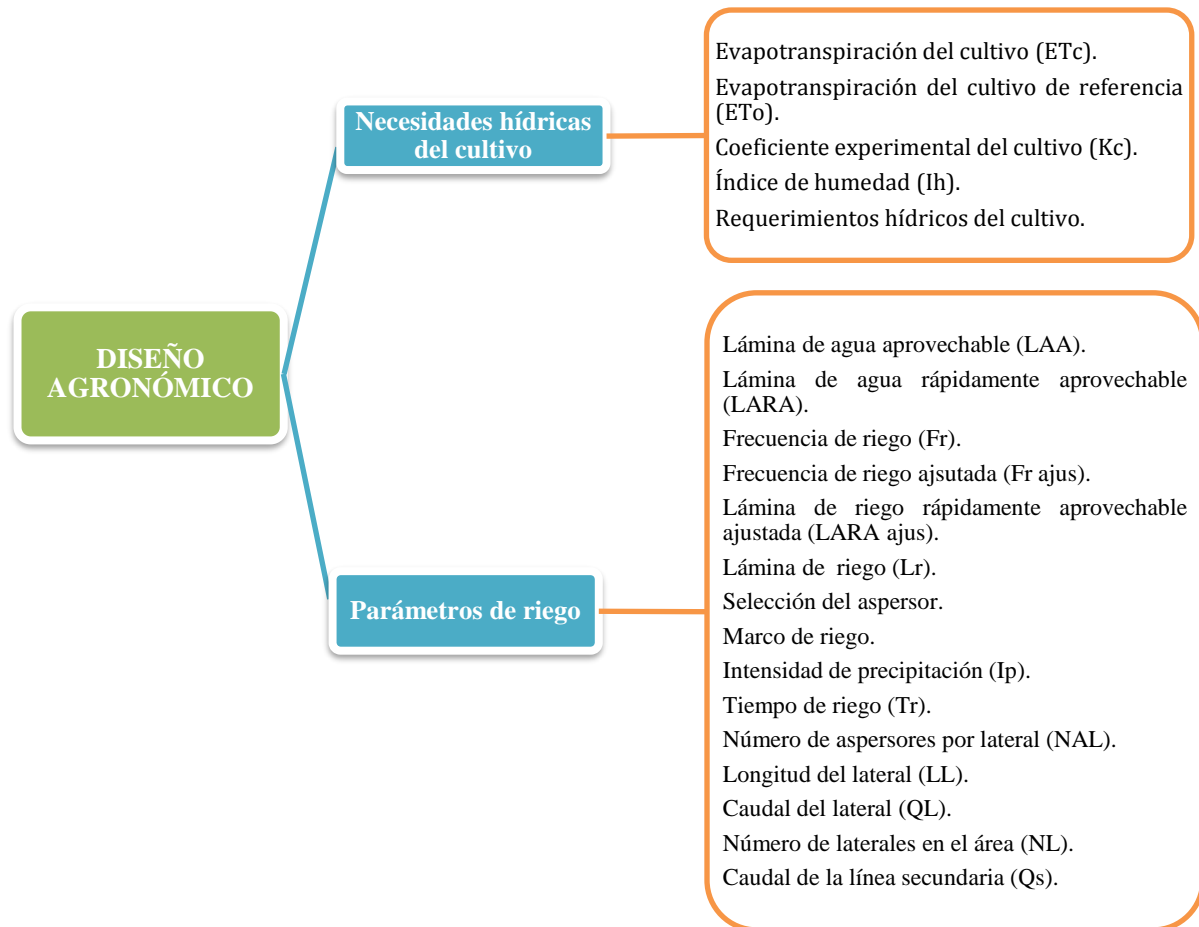
Con respecto al segundo objetivo, el cual consiste en “*el diseño agronómico e hidráulico del sistema riego por aspersión*”; una vez obtenida la información diagnóstica y caracterización del área de estudio, se realizó lo siguiente:

5.4.1. Diseño Agronómico

Aguinsaca (2020) menciona que el diseño agronómico nos permite conocer las diversas variables como: las necesidades hídricas del cultivo, la cantidad de agua en términos de lámina, frecuencias y tiempos de riego, selección del aspersor, caudales en tuberías laterales y secundaria, el orden de su procedimiento se lo puede observar en la (Fig. 5) y posteriormente su descripción.

Figura 5

Esquema del diseño agronómico para el sistema de riego por aspersión.



5.4.1.1. Necesidades hídricas del cultivo.

- **Evapotranspiración del cultivo**

Según Zapata (2014), para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo se utiliza la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

Kc = Coeficiente del cultivo (adimensional)

- **Evapotranspiración del cultivo referencia (ET_o)**

Se aplicó el procedimiento de Penman – Monteith, que se encuentra desarrollado en el programa CROPWAT 8,0 de la FAO, los datos climáticos requeridos por este modelo matemático fueron obtenidos de la estación meteorológica de la parroquia Malacatos (M143; INHAMI) que se encuentra cerca del predio en estudio. Los datos que se recopilaron fueron de altitud, latitud, longitud, humedad relativa, velocidad del viento, heliofanía, temperatura máxima y mínima, los cuales fueron recuperados de los anuarios del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), en un periodo de 20 años (1992-2012).

- **Coeficiente experimental del cultivo (kc)**

De acuerdo a los resultados obtenidos por Ureña (2017) (Anexo 7) y basándonos en estudios de la FAO (s. f.) y Yanangómez (2018) , se pudo adquirir la información adecuada sobre la curva del kc del cultivo de maíz; se identificó las etapas de desarrollo del cultivo, la duración de cada etapa y la selección de los valores correspondientes de kc, tomando como referencia la fecha de siembra y los meses del ciclo del cultivo. De esta manera se procedió a graficar la curva del kc, ubicando en el eje de las X el tiempo en días de cada fase; y en el eje Y los valores correspondientes al coeficiente del cultivo Kc.

- **Índice de humedad (Ih)**

Se lo calculó en relación a la siguiente ecuación:

$$Ih = \frac{Pm}{ET_o}$$

Donde:

Ih = Índice de humedad

Pm = Precipitación media mensual (mm)

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm)

- **Requerimientos hídricos del cultivo**

Se aplicó la siguiente fórmula:

$$Pe = 0,8 * Pm - 25; \text{ si } Pm > 75\text{mm/mes}$$

$$Pe = 0,6 * Pm - 10; \text{ si } Pm < 75\text{mm/mes}$$

Donde:

Pe = Precipitación efectiva (mm)

Pm = Precipitación media mensual (mm)

5.4.1.2. Parámetros de riego.

En relación a los resultados del clima, cultivo y propiedades hidrofísicas del suelo se calcularon las láminas de agua y el tiempo de riego.

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

$$LAA = \frac{CC - PMP}{100} * \frac{Da}{Dw} * P. ef$$

Donde:

LAA = Lámina de agua aprovechable (mm)

CC = Contenido de humedad a capacidad de campo expresado en términos de masa (%)

PMP = Contenido de humedad punto de marchitez permanente expresado en términos de masa (%)

Da = Densidad aparente del suelo (g/cm^3)

Dw = Densidad del agua (g/cm^3)

$P. ef$ = Profundidad efectiva de las raíces (mm)

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

Se aplicó la siguiente fórmula:

$$LARA = LAA * UR$$

Donde:

LARA = Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

UR = Umbral de riego o porcentaje de agotamiento (decimal); de acuerdo a Sawchik et al. (2000) considera el 50 % para el cultivo de maíz.

LAA = Lámina de agua aprovechable (mm)

- **Frecuencia de riego (Fr)**

Se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{LARA}{ETc\ max}$$

Donde:

Fr = Frecuencia de riego (días)

LARA = Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

ETc max = Evapotranspiración máxima del cultivo (mm/día)

- **Frecuencia de riego ajustada (Frj)**

Se la determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Frj = ETc\ max * \# \text{ días}$$

Donde:

Frj = Frecuencia de riego ajustada (días)

ETc max = Evapotranspiración máxima del cultivo (mm/día)

días = Número de días (días)

- **Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (LARA ajus)**

Para su respectivo cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$LARA\ ajus = ETc\ max * Frj$$

Donde:

LARA ajus = Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (mm)

ETc max = Evapotranspiración máxima del cultivo (mm/día)

Frj = Frecuencia de riego ajustada (días)

- **Lámina de riego (Lr)**

$$Lr = \frac{LARA\ ajus}{Ea}$$

Donde:

Lr = Lámina de riego (mm)

LARA ajus = Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (mm)

Ea = Eficiencia del método de riego por aspersión (decimal 0,75)

- **Selección del aspersor**

De acuerdo a la velocidad de infiltración del suelo y de las características del aspersor, nos permitió elegir un aspersor en relación a la presión del funcionamiento, diámetro húmedo y caudal de emisión.

- **Marco de Riego**

De acuerdo a la velocidad del viento se consideró el 60 % del diámetro húmedo del aspersor seleccionado (Tabla 6); con el objetivo de conseguir una lluvia más uniforme, en relación a las condiciones físicas que presenta el terreno, y así evitar que las zonas más alejadas de los aspersores reciban menos agua; para lograr una mejor uniformidad de distribución se tomó en cuenta al valor de espaciamiento recomendado por el fabricante.

- **Intensidad de Precipitación (I_p)**

Se calculó aplicando la siguiente ecuación:

$$I_p = \frac{qa}{Sa * SI}$$

Donde:

I_p = Intensidad de precipitación (mm/h)

qa = Caudal del aspersor (l/h)

Sa = Espacio entre aspersores (m)

SI = Espacio entre laterales (m)

- **Tiempo de riego (Tr)**

El tiempo de riego se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

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

Donde:

Tr = Tiempo de riego por posición por lateral (h)

Lr = Lámina de riego (mm)

I_p = Intensidad de precipitación del aspersor (mm/h)

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

Se lo calculó en relación a la siguiente ecuación:

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

Donde:

NAL = Número de aspersores por lateral (u)

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

Sa = Espacio entre aspersores (m)

- **Longitud del Lateral (LL)**

El primer aspersor se ubica en la mitad de la separación entre aspersores ($Sa/2$), por consiguiente, la longitud del lateral se la obtuvo con la siguiente fórmula:

$$LL = Sa * (NAL - 0,5)$$

Donde:

LL = Longitud del lateral (m)

Sa = Espacio entre aspersores (m)

NAL = Número de aspersores por lateral (u)

- **Caudal del lateral (QL)**

El caudal del lateral se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$QL = qa * NAL$$

Donde:

QL = Caudal del lateral (l/h)

qa = Caudal del aspersor (l/h)

NAL = número de aspersores por lateral (u)

- **Número de laterales en el área NL**

Se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$NL = \left(\frac{LTS}{SL} \right)$$

Donde:

NL = Número de laterales en el área (u)

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

SL = Espacio entre laterales (m)

- **Caudal de la línea secundaria (Qs)**

Para el caudal secundario se utilizó la siguiente expresión algebraica:

$$Qs = QL * NL$$

Donde:

Qs = Caudal de la línea secundaria (l/h)

QL = Caudal del lateral (l/h)

NL = Número de laterales (u)

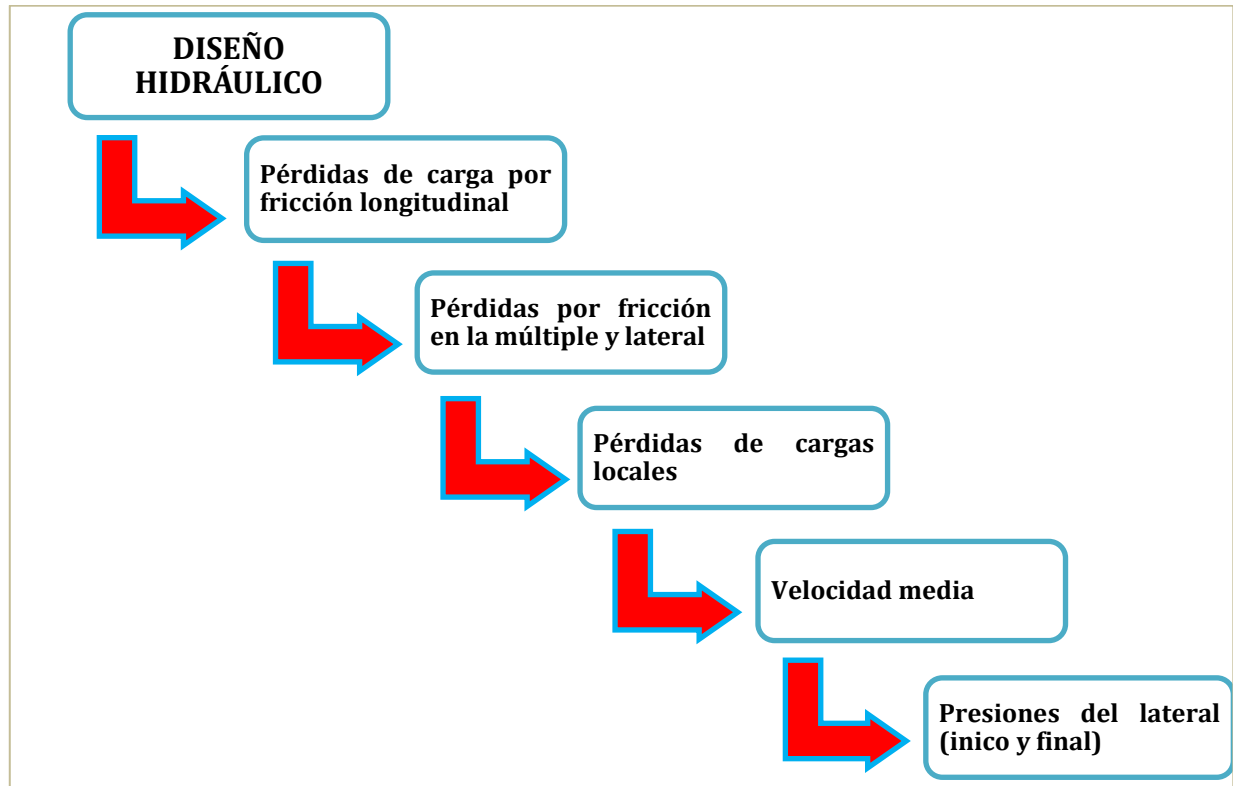
5.4.2. Diseño Hidráulico

Para el diseño hidráulico se determinó los diámetros de la red de tuberías del sistema de riego mediante tanteos sucesivos tomando en consideración la velocidad, caudal y la longitud de la tubería; de igual forma se calculó las dimensiones de la red principal, secundaria (múltiple), lateral, pérdidas de carga por fricción en las tuberías y accesorios.

Una vez seleccionado el diámetro de las tuberías, se determinó las pérdidas por fricción utilizando la ecuación de Hazen-Williams. Además, para corregir las pérdidas de carga por fricción longitudinal en las tuberías múltiple (secundaria), lateral se utilizó el factor de corrección Christiansen. A continuación, se puede apreciar su procedimiento (Fig. 6) y posteriormente su descripción.

Figura 6

Esquema del diseño hidráulico para el sistema de riego por aspersión.



- **Pérdidas de carga por fricción longitudinal**

Se calculó de acuerdo a la aplicación de la fórmula de Hazen – William para tuberías de PVC o Polietileno.

$$hf = J * L$$

Donde:

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

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

L = Longitud de la tubería (m)

Gradiente Hidráulico

Se obtuvo de acuerdo a la siguiente expresión algebraica:

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

Donde:

Q = Caudal transportado en la tubería (l/s)

C = Coeficiente de fricción (Tabla 10)

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

Tabla 10

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

Valores del factor C de la ecuación de Hazen-Williams	
Material	C
PVC	150
PE (Poliducto)	140
HG	100

Fuente: (Alocén, 2007)

- **Pérdidas de carga por fricción en la múltiple y lateral**

Se lo calculó con base al producto entre el gradiente hidráulico de las tuberías múltiple y lateral, por la longitud respectiva de cada una de ellas y por el coeficiente de reducción de pérdidas de Christiansen (F); empleando la siguiente ecuación:

$$Hf = J * L * F$$

Donde:

Hf = Pérdida de carga en la tubería lateral (m)

J = Gradiente hidráulico (m/m)

L = Longitud de la tubería (m)

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

Coeficiente de Christiansen: Se lo calculó con la siguiente ecuación algebraica debido a que el primer aspersor está ubicado a la mitad de espaciamiento con respecto a los demás aspersores en el lateral ($Ea/2$).

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

Donde:

n = Número de aspersores en el lateral

B = Factor que depende del material de la tubería

- **Pérdidas de cargas locales**

Para las pérdidas de los diferentes accesorios se empleó la siguiente ecuación:

$$Hf_{sec} = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

Hf_{sec} = Pérdida de carga local o de accesorios (m)

K = Coeficiente de pérdidas menores del accesorio (adimensional)

V = Velocidad media del flujo en la tubería (m/s)

g = Aceleración de la gravedad ($9,81\text{m/s}^2$)

Cálculo de la velocidad media del flujo

En el cálculo de la velocidad media del agua en las tuberías, se basó que estén dentro de un rango óptimo (0,5 y 2,5 m/s) establecido por Fernández (2020), misma que se la determinó mediante la siguiente fórmula algebraica:

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

Donde:

V = Velocidad media del flujo en la tubería (m/s)

Q = Caudal de la conducción de la tubería (m³/s)

A = Área de la sección circular interna de la tubería (m²)

Para el área interna de la tubería se calculó en relación al diámetro interior de la misma, aplicando la siguiente ecuación:

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

Donde:

A = Área de la sección circular interna de la tubería (m²)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

- **Presiones del lateral**

Para el diseño se determinó de acuerdo a la presión del origen y final del lateral; donde la diferencia de las mismas debe ser menor al 20 % de la presión nominal, lo que producirá el 10 % en el caudal de descarga. En este caso se eligió el caso tres (pérdida de carga en el lateral, menor que el desnivel geométrico entre los extremos del lateral **hf < Hg**) (**Lateral descendente**) debido a que en el diseño la presión mínima ocurre aguas arriba, y la presión máxima aguas abajo del lateral.

$$\frac{Pu}{\gamma} - \left(\frac{Po}{\gamma} - Ha \right) = Hg - hf \leq 0,2 \frac{Pa}{\gamma}$$

Donde:

$\frac{Po}{\gamma}$ = Presión mínima o en el origen del ramal (m)

Ha = Altura de porta aspersores (m)

$\frac{P_u}{\gamma}$ = Presión máxima o presión en el último aspersor (m)

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

hf = Pérdida de carga en el lateral (m)

Hg = Desnivel geométrico entre los extremos del lateral (m)

Presión mínima o en el origen del lateral se la determina con la siguiente expresión:

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \left(\frac{3}{4}\right) hf - \frac{Hg}{2} + Ha$$

Presión máxima o en el último aspersor se la expresa de la siguiente manera:

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

5.4.2.3. Cálculo de la presión requerida en el sistema.

$$PT = hfp + hfs + hfl + hfac + Pa + Ha$$

Donde:

PT = Presión total (mca)

hfp = Pérdida por fricción en la tubería principal (m)

hfs = Pérdida por fricción en la tubería secundaria (m)

hfl = Pérdida por fricción en la tubería lateral (m)

$hfac$ = Pérdida en accesorios (m)

Pa = Presión del aspersor (m)

Ha = Altura del elevador (m)

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Resultados para el primer objetivo

6.1.1. Caracterización biofísica del predio motivo de estudio

- **Relieve**

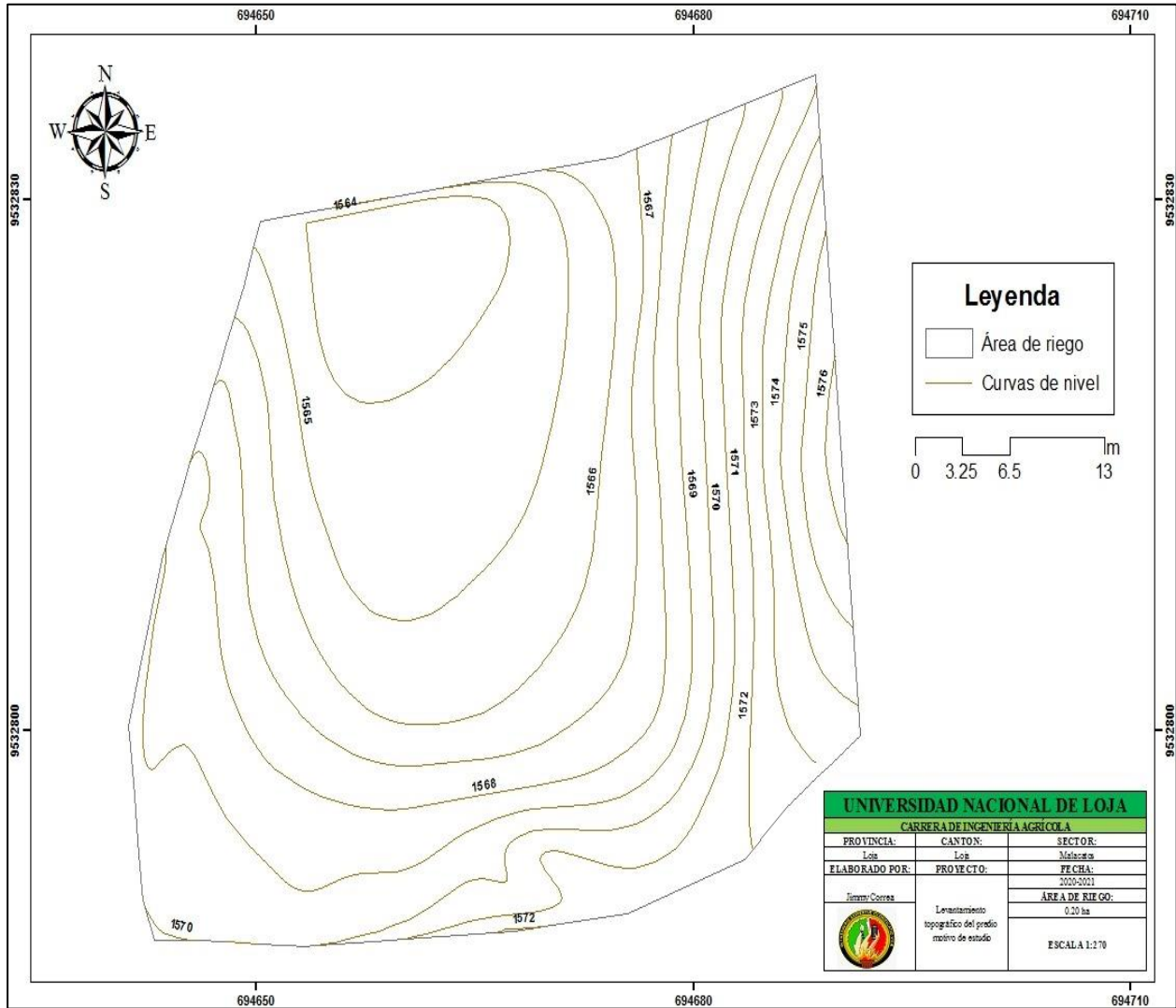
El 56,36 % de la superficie total de la parroquia Malacatos presenta un relieve montañoso con pendientes que van desde 40 a 100 % (fuertes-muy fuertes), constituyéndose en suelos de difícil uso agrícola, y tan solo el 11,2 % para uso agrícola (Segarra et al., 2015).

El barrio Cabianga presenta un relieve coluvial reciente con pendientes muy suaves, suaves y medias que van de 5 a 25 %, desniveles relativos 0 a 15 m y se encuentran asociados a una cobertura vegetal de tipo herbácea y arbórea (Segarra et al., 2015).

El área de estudio donde se diseñó el sistema de riego por aspersión es de 0,20 ha, se obtuvieron curvas de nivel cada 1 m de distancia, presenta una pendiente del 25 % y altitudes que van de 1 563-1 577 msnm, la misma que corresponde según Cevallos (2019), a un terreno con relieve moderadamente ondulado (Fig. 7); cabe recalcar que existe un desnivel de 19 m desde la toma de agua al área de riego.

Figura 7

Topografía del predio de estudio.



- **Geología**

Malacatos en sí, es un valle estrecho, recorrido por el río de su nombre a las riveras del cual los depósitos aluviales forman dos fajas angostas. En el plano geológico, la parroquia de Malacatos se encuentra dentro de la depresión interandina entre la Cordillera Occidental constituida por rocas volcánicas del Cretáceo y, la Oriental (Cordillera Real) constituida por rocas metamórficas de edad precámbrica-cámbrica (Collahuazo et al., 2012).

La microcuenca de Malacatos en su totalidad está formada por sedimentos terciarios, divididos en las siguientes formaciones: Serie Zamora, Formación Quillollaco, Formación San Cayetano, Formación Trigal, Formación Loma Blanca, Depósito aluvial antiguo y Depósito aluvial reciente. La mayor parte de territorio de la parroquia pertenece a la formación Serie Zamora, ocupa el 86 % del área total de la misma, constituida por gneises biótico, filitas, cuarcitas, esquistos, granito meta somático, etc. (Collahuazo et al., 2012).

El predio de estudio pertenece a la Formación Quillollaco compuesta principalmente de conglomerados con arenas de grano grueso, areniscas y limonita micácea, formando capas prominentes (Benítez, 2012).

- **Clase de suelos**

La mayor parte de los suelos de la parroquia son del orden Entisol con un área de 9 485,8 ha representan el 44,77 % del área total de la parroquia, estos suelos primarios son formados sobre superficies de erosión reciente en régimen de humedad údico y ústico, Además se caracterizan por tener un origen fluvial (Segarra et al., 2015).

El predio de estudio posee suelos de orden Entisol y subgrupo Vermic Udorthents, de acuerdo con SIGTIERRAS (2017), son suelos con un perfil poco desarrollado, con texturas francos en la superficie y franco arcillo-arenosos a profundidad, buen drenaje, poco profundos, frecuente pedregosidad, pH ligeramente ácido a neutro, fertilidad mediana (Segarra et al., 2015); dicha información se la pudo comprobar en campo, con la implementación de una calicata, donde se pudo determinar ciertas propiedades como textura, profundidad del suelo y radicular de los cultivos (Anexo 2).

- **Uso y cobertura del suelo**

El uso y cobertura del suelo de la parroquia Malacatos predominan las tierras para la conservación y protección con un 70,07 % de superficie; de estas el bosque húmedo es el más representativo ya que ocupa 4 136,48 ha, a continuación, se encuentran las de uso pecuario con un 16,01 % es decir 3 304,30 ha. Las tierras agrícolas, agropecuarias mixtas suman el 11,79 % de superficie y las tierras de uso antrópico únicamente ocupan el 0,88 % (Segarra et al., 2015).

El barrio Cabianga está conformado por diversos tipos de coberturas: pasto cultivado con presencia de árboles, bosque premontano bajo y pasto cultivado, huertas familiares (cultivos de ciclo corto, frutales, caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), café (*Coffea*)) (Segarra et al., 2015).

Con base al trabajo de campo realizado en el predio de estudio se determinó las principales actividades agrícolas que se realizan: cultivos de ciclo corto, entre ellos; maíz (*zea mays*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*), y a la vez cuenta con ciertas plantas como; guayaba (*Psidium guajava*), mango (*Mangifera indica*), guanábana (*Anona muricata*), maracuyá (*Passiflora edulis*), limón agrio (*Citrus limon*), guineo (*Musa × paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*).

- **Agua**

Según el mapa de microcuencas de la parroquia Malacatos, elaborada por el Gobierno Provincial de Loja, en la parroquia se identifican cuatro microcuencas importantes que abastecen de agua para uso doméstico, riego y abrevaderos para los animales, estas son: Microcuenca del Río Malacatos, Microcuenca Santo Domingo, Microcuenca del río Chonta y Microcuencas de drenajes menores (Collahuazo et al., 2012).

El Municipio de Loja ha identificado en la parroquia una fuente abastecedora de agua para la población de Malacatos, que es la microcuenca Campana con una superficie de 3 383,85 ha. Según la SENAGUA (2012), las demandas de agua para la parroquia Malacatos son de

aproximadamente 1 495,45 l/s. El caudal concesionado se divide en las siguientes categorías: Uso doméstico 23,84 l/s (1,59 %), riego 1 450,76 l/s (97,01 %), agua potable 2,94 l/s (0,2 %), piscícolas 16,06 l/s (1,07 %), abrevaderos 1,87 l/s (0,12 %).

Los sectores de Cabianga, Tariana y Taxiche, por encontrarse en el margen izquierdo del río Malacatos donde no hay captaciones del mismo, hacen uso del Canal Alto de San Pedro de Vilcabamba que se capta del río Uchima, utilizándose 64 l/s para regar 80 ha (Segarra et al., 2015).

El predio de estudio por encontrarse ubicado en el barrio Cabianga hace uso del Canal Alto de San Pedro de Vilcabamba, mediante un canal de segundo orden cuyo caudal es de 51,2 l/s, esta información se la determinó en campo mediante el aforo del caudal de dicho canal con el método de la velocidad-superficie transversal (método del flotador).

$$Q = A * V * Fc \rightarrow V = \frac{e}{t} = \frac{10m}{25 s} = 0,40 m/s$$

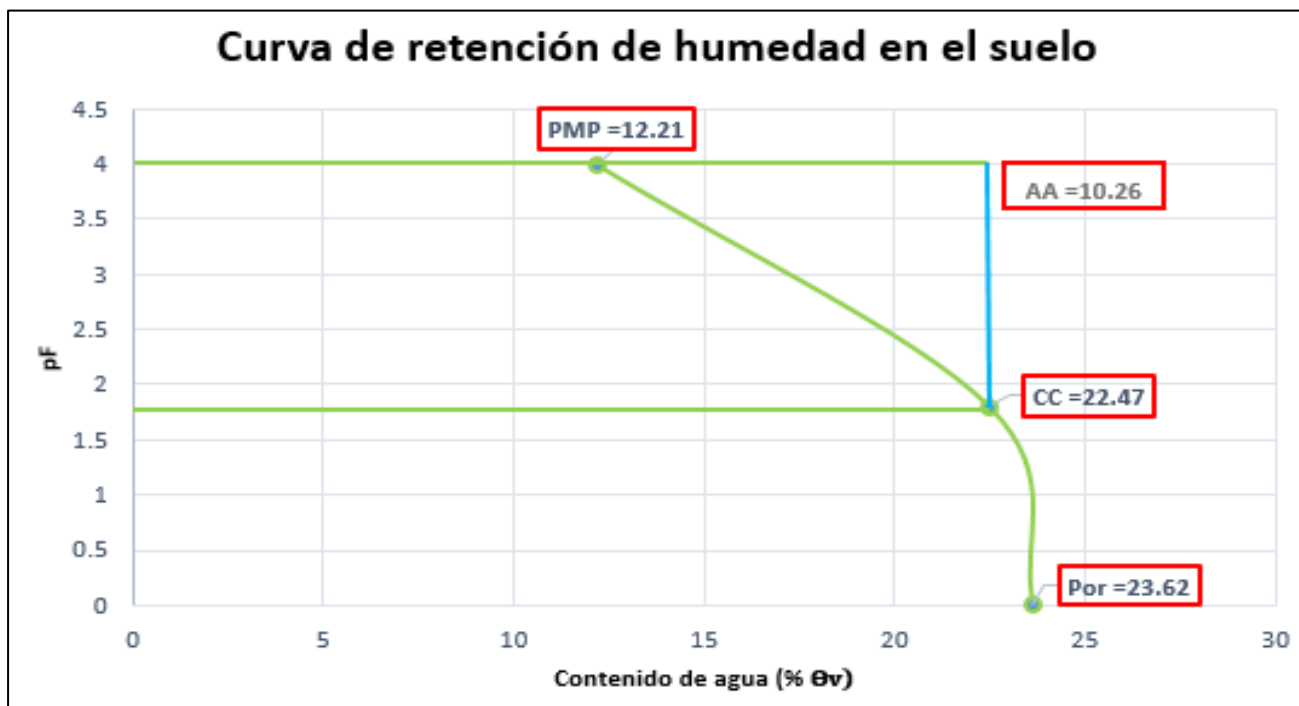
$$A = b * h = 0,4 * 0,4 = 0,16m^2$$

$$Q = 0,16m^2 * \frac{0,40 m}{s} * 0,8 = \frac{0,0512 m^3}{s} = 51,2 l/s$$

- **Curva de retención de humedad en el suelo**

Figura 8

Curva de retención de humedad en el suelo.



En relación a los análisis obtenidos de las constantes hidrofísicas del suelo (Fig. 8), el predio de estudio cuenta con una capacidad de campo (CC) de 22,47 % a pF 1,8 (1/10 atm), punto de marchitez permanente (PMP) de 12,21 % a pF 4 (15 atm), lo cual indica que se tiene un 10,26 % de agua aprovechable para los cultivos clasificándolo como medio y con un valor de 23,62 % de estado poroso o saturación, y de acuerdo a Silva et al. (2015), es característico de un suelo franco arcilloso.

- **Velocidad de infiltración del suelo**

De acuerdo a los datos recopilados en el trabajo de campo se obtuvo un valor de 12,20 mm/hora, de infiltración básica (Anexo 6), y según Soubannier (1985), corresponde a una clase

textural de un suelo franco arcilloso, ya que en suelos arcillosos se registran valores de infiltración inferiores a 20 mm/h, considerándose una velocidad de infiltración moderadamente lenta.

6.1.2. Caracterización económica productiva del predio

- **Descripción general del predio**

De la información recolectada mediante entrevistas se pudo determinar que el predio del Señor Ángel Amable Correa Ochoa de 59 años de edad, se dedica a la producción para el autoconsumo utilizando para ello exclusivamente mano de obra familiar, mediante el sembrío de cultivos de ciclo corto entre ellos; maíz (*zea mays*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*); además posee algunas plantas como guayaba (*Psidium guajava*), mango (*Mangifera indica*), guanábana (*Anona muricata*), maracuyá (*Passiflora edulis*), limón agrio (*Citrus limon*), guineo (*Musa × paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*).

En lo referente a los ingresos, el propietario de dicho predio realiza actividades fuera del mismo ya que no existe suficientes fuentes de trabajo en su entorno cercano; entre una de las actividades que se dedica es a la negociación de ganado bobino, con el fin de poder obtener ingresos y por ende invertir en sus cultivos de ciclo corto y apoyar al sustento diario de su familia.

- **Caracterización de los usuarios de riego del sector Cabianga**

Se presentan a continuación los datos condensados en función a las variables consultadas mediante las encuestas aplicadas a los usuarios de riego del barrio “Cabianga”.

Tabla 11

Resultados de encuestas a los usuarios de riego en el sector Cabianga.

Parámetro/variable	Resultado principal	Peso/incidencia (%)
Edad de la población.	16 - 60 años	93,33
Nº integrantes por familia.	5 - 10	66,67
Tenencia de tierra.	Propia	80
Tipo de trabajo.	Individual	100
Productos que producen.	Maíz, fréjol, guineo, café, yuca, frutales.	83,33
Meses que produce.	septiembre-diciembre	73,33
Meses de cosecha.	enero-abril	63,33
Tipo de riego.	Gravedad	70
Fuente de agua.	Canal de riego	83,33
Periodo de riego.	Cada 15 días	70
Superficie de riego.	1 000-3 000 m ²	73,33
Organismo que regule el uso del agua.	Junta de agua de riego San Pedro de Vilcabamba	83,33
Determinación del volumen de agua de riego.	De acuerdo al área del predio	100
Horario de aplicación del riego	En la mañana	76,67
Miembros que asumen la actividad de riego.	Padre, madre, hijos.	80
Pago por consumo del recurso.	Si realizan un pago por consumo del recurso	100
Disponibilidad de autorización del uso del recurso (concesión).	Si disponen de una autorización	100

Para obtener la caracterización económica productiva del sector Cabianga se aplicó una encuesta a 44 familias que corresponde a una muestra de tamaño de población de 50 predios.

De acuerdo al INEC (2010), las edades de los habitantes de la parroquia de Malacatos están distribuida en distintos rangos: el 56,47 % está conformada por población joven (0-29 años), seguido de la población adulta (30-64 años) que constituye el 31,80 %, y finalmente por adultos mayores (≥ 65 años) que representa el 11,64 %. Esto permite considerar que la parroquia Malacatos está conformada por una población joven, que se debe incentivar su potencial para insertarla en la actividad productiva de la parroquia.

La estructura agraria de la parroquia, de acuerdo al último censo agropecuario, se indica que el 69,87 % de productores son minifundistas (predios menores de 5 hectáreas) y de estos el 31 % tienen predios menores a 1 ha. Los productores minifundistas solamente poseen el 11,2 % de la tierra, frente al 2,78 % de los propietarios que tienen predios mayores a 50 ha y que tienen el 46 % de la tierra (Segarra et al., 2015).

Con base a los datos recolectados de las encuestas aplicadas a los usuarios de riego del sector Cabianga, se determinó que la población se encuentra en un rango de edad de 16-60 años; las familias están conformadas de 5 a 10 miembros, la tenencia de la tierra es propia, con superficies de riego que van desde los 1 000 a los 3 000 m².

Desde el 2010 (último censo) hasta el 2020, la población de la parroquia de Malacatos experimentará un crecimiento significativo, de acuerdo a las proyecciones de población del INEC, que va desde los 7 114 (2010) a 9 076 habitantes (2020) (Segarra et al., 2015).

La Población Económicamente Activa (PEA) de la parroquia Malacatos se dedica a actividades de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (41,5 % de la PEA); la construcción (10,4 %); el comercio (9,76 %); y la manufactura (7,57 %) (Segarra et al., 2015). La PEA de acuerdo a las categorías de ocupación, está dada en Malacatos por la agricultura, comercio y manufactura, pues en estas actividades se incluyen a las personas, hombres y mujeres, que realizan

la misma por cuenta propia, como jornaleros o como empleados u obreros. El 39,15 % de la PEA está constituida por trabajadores o emprendedores por cuenta propia; con el 29,1 % se tiene a los jornaleros o peones; mientras que empleados u obreros privados con el 12,38 %.

El ingreso familiar de la parroquia se basa en la mayoría de los casos en rubros extras de la unidad de producción agropecuaria, como la venta de su fuerza de trabajo y fuera de la actividad del agro. El 11,83 % de la superficie de la parroquia está bajo este sistema de producción, y para la generación de ingresos se realiza mediante trabajo asalariado que se complementa con las labores agrícolas para autoabastecimiento. Generalmente el tamaño de la propiedad es tan pequeño que no se puede obtener rendimientos adecuados que faciliten procesos de comercialización de excedentes, por lo que los integrantes de estas familias deben emigrar para dedicarse a labores de construcción u otras actividades (Segarra et al., 2015).

Los usuarios de riego del sector Cabianga realizan trabajo de forma individual, debido a que no poseen los recursos económicos necesarios para implementar mano de obra, por tal razón acuden a la mano de obra familiar.

De acuerdo a datos de Censo de Población y Vivienda de 2010, el 41,5 % de la población se dedica a actividades agropecuarias. La producción agrícola está concentrada en el cultivo de caña de azúcar, hortalizas y frutales (1 518,62 ha), mientras que la pecuaria a la crianza de ganado bovino (3 304,3 ha), realizándose además actividades mixtas de agricultura y pecuaria en 915,06 ha de acuerdo a información del IEE-MAGAP (2012).

Según (MAGAP, DPA Loja, 2011), los principales cultivos de la parroquia Malacatos son la caña de azúcar, el fréjol tierno, el maíz duro y hortalizas como el brócoli, col, lechuga y tomate riñón. La producción de estos cultivos se destina principalmente para el abastecimiento del mercado de la ciudad de Loja y una pequeña proporción se usa para autoconsumo. Los productores

de la parroquia solamente destinan el 4 % de la producción al autoconsumo lo que les genera dependencia alimentaria.

Los principales productos que ofrece la parroquia son precisamente los obtenidos a través de la producción primaria, en especial la caña de azúcar, fréjol, maíz duro y hortalizas. También son de relevancia los productos del sector de secundario y terciario, como la manufactura (ladrilleras, productos como panela y aguardiente) y de servicios (hospedaje, alimentación, entre otros.) (Segarra et al., 2015).

Según el censo 2010 realizado por el INEC, solo el 0,8 % de la PEA se dedica a actividades industriales manufactureras (elaboración de la panela y fabricación de ladrillo), esto representa aproximadamente a 200 personas del total de habitantes de la parroquia.

Como expresa (MAGAP, DPA Loja, 2011); citado en Segarra et al. (2015), la producción de la parroquia Malacatos es la siguiente: para la caña de azúcar variedad: cristal (producción 1 281,36 ton, rendimiento 14,23 ton/ha), venezolana (producción 1 318,18 ton, rendimiento 26,36 ton/ha); fréjol tierno variedad: mantequilla (producción 27,27 ton, rendimiento 1,36 ton/ha); maíz duro seco variedad: Pacífico (producción 113,64 ton, rendimiento 2,27 ton/ha), Brasilia (producción 295,45 ton, rendimiento 5,91 ton/ha), INIAP 505 (producción 90,91 ton, rendimiento 4,55 ton/ha); brócoli variedad: venezolana (producción 363,64 ton, rendimiento 18,18 ton/ha); col variedad: corazón (producción 363,64 ton, rendimiento 18,18 ton/ha); lechuga variedad: repollo (producción 3 409,09 ton, rendimiento 340,91 ton/ha); tomate de riñón variedad: Charles (producción 460,23 ton, rendimiento 92,05 ton/ha).

Los productos que más sobresalen en el sector Cabianga son: maíz, fréjol, guineo, café, yuca, frutales, pero en muy poca cantidad (2-5 qq); ya que la mayoría de la población solo cultiva

para el autoconsumo. El tiempo en que se dedican a producir estos productos son de septiembre a diciembre y sus cosechas las realizan en los meses de enero a abril.

Un potencial de la parroquia Malacatos es la disponibilidad de agua para riego. Según la SENAGUA, en Malacatos se encuentran concesionados 2 098,3 l/s que permiten regar 2 976,70 ha, utilizando un caudal continuo de 0,70 l/s/ha, así mismo 5,4 l/s están concesionados para el uso de abrevaderos, sin embargo, existe déficit de infraestructura de riego, especialmente de riego tecnificado a nivel de parcela (Segarra et al., 2015).

La mayor parte de la población del sector Cabianga realizan riego por gravedad debido a que son tradiciones que se han venido practicando desde tiempos ancestrales, determinan el volumen de agua de riego de acuerdo al área de sus predios, la fuente principal de agua que hacen uso, es a través de un canal secundario de riego perteneciente al Canal Alto de San Pedro de Vilcabamba; aportando agua a sus cultivos cada 15 días en horarios de regadío por la mañana, siendo los padres e hijos que asumen este rol.

El Organismo que regula el riego en dicho sector es la Junta de agua de riego San Pedro de Vilcabamba, junto a la directiva del barrio Cabianga, por tal razón todos los usuarios deben realizar un pago para poder tener autorización del uso del recurso agua.

6.2. Resultados para el segundo objetivo

6.2.1. Diseño Agronómico

Para el diseño agronómico se determinó la cantidad de agua necesaria que necesita el predio de estudio en la época de máxima demanda y satisfacer las necesidades hídricas que requiere el cultivo (*Zea mays*).

6.2.1.1. Necesidades hídricas del cultivo.

- **Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)**

La evapotranspiración del cultivo de referencia se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 12

Cálculos de Evapotranspiración (ET_o).

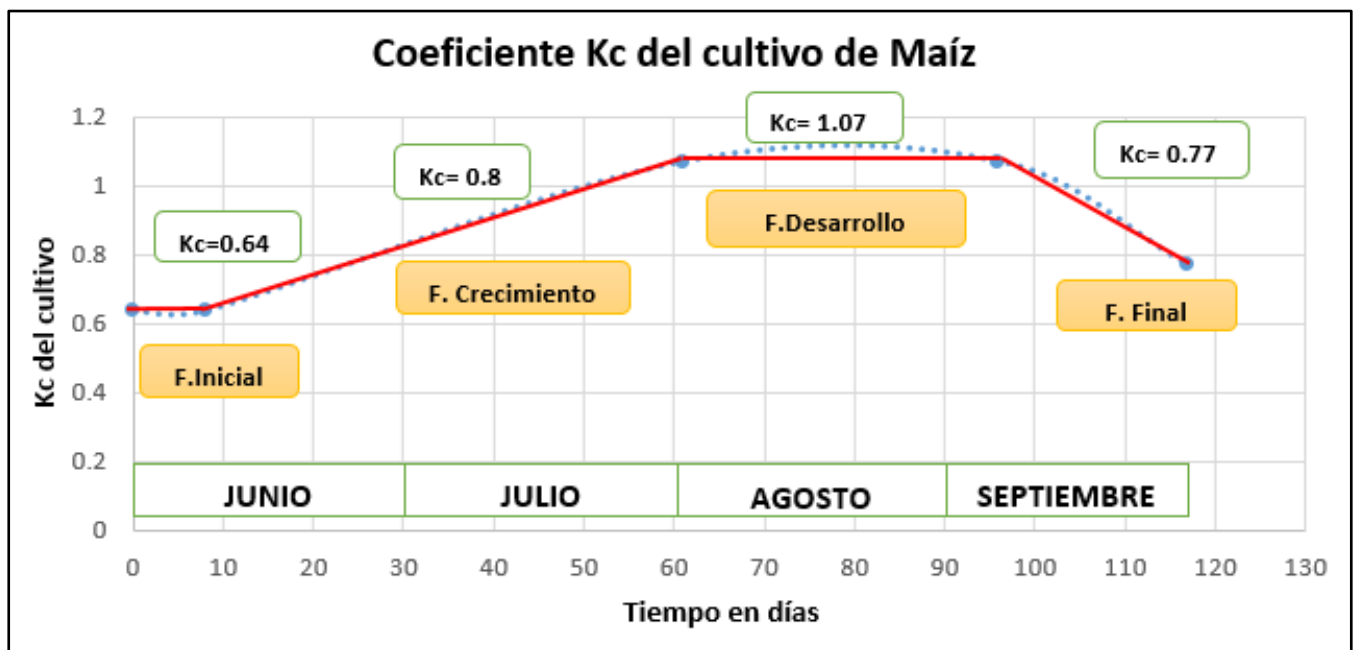
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ET _o (mm/día)	3,1	3,3	3,3	3,2	3,1	3,1	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,4
ET _o (mm/mes)	96,9	92,0	102,4	95,3	94,9	92,6	102,7	104,8	102,9	106,3	106,1	106,1

Los datos obtenidos indican que el mayor valor de ET_o en todo el año es en el mes de octubre con 106,3 mm/mes y en menor cantidad en el mes de junio con un valor de 92,6 mm/mes.

- **Coefficiente del cultivo (k_c) (*Zea mays*)**

Figura 9

Coefficiente K_c del cultivo de maíz.



De acuerdo a los resultados obtenidos, los coeficientes de maíz en sus diversas etapas fenológicas, tienen los siguientes valores de 0,64 para el mes de junio que es la fase inicial, 0,8 para el mes de julio la fase de crecimiento, 1,07 para el mes de agosto perteneciente a la fase intermedia y en la fase final que es en el mes de septiembre con un valor de 0,77 (Fig. 9).

El kc para el maíz en la fase inicial del cultivo es más bajo porque la planta tiene una baja evapotranspiración, esto va cambiando debido a que la planta crece, puesto que el coeficiente de la misma va aumentando de tamaño hasta alcanzar su máximo kc, que es en el mes de agosto con un valor de 1,07.

- **Evapotranspiración del cultivo**

Tabla 13

ETc del cultivo de maíz.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Kc	-	-	-	-	-	0,64	0,8	1,07	0,77	-	-	-
ETc (mm/mes)	-	-	-	-	-	59,27	82,20	112,19	79,19	-	-	-
ETc (mm/día)	-	-	-	-	-	1,98	2,65	3,62	2,64	-	-	-

El valor de evapotranspiración del cultivo va de 59,27 a 112,19 mm/mes, valores que corresponden al ciclo de siembra de la temporada de verano que es de junio a septiembre, meses donde existen menores precipitaciones, y varían de acuerdo a diferentes condiciones climáticas en la fase fenológica del cultivo de maíz, siendo en agosto la mayor evapotranspiración con un valor de 112,19 mm/mes, y en junio el menor valor con 59,27 mm/mes (Tabla 13).

- **Índice de humedad**

Tabla 14

Índice de humedad

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Pm (mm/mes)	65,78	105,23	105,38	89,74	34,79	10,65	9,26	9,80	19,08	80,82	62,19	70,73
ETo (mm/mes)	96,86	92,03	102,37	95,25	94,91	92,62	102,75	104,85	102,85	106,28	106,07	106,12
Ih	0,68	1,14	1,03	0,94	0,37	0,11	0,09	0,09	0,19	0,76	0,59	0,67

De acuerdo a los datos obtenidos (Tabla 14) nos indica que la zona de estudio presenta precipitaciones máximas en los meses de octubre a mayo con valores que oscilan entre 34,79 a 105,23 mm/mes; mientras que para los meses de junio a septiembre las precipitaciones son menores con valores de 9,26 a 19,08 mm/mes.

En relación con el parámetro del índice de humedad se puede observar que los datos establecidos presentan coherencia ya que la mayoría de los meses presentan valores que son menores a 1 en el transcurso del año, indicando que existe un déficit de agua; para el diseño se tomaron los datos con menor valor que se encuentran entre los meses de junio a septiembre.

- **Requerimientos hídricos del cultivo**

Tabla 15

Requerimientos hídricos del cultivo.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETc (mm/mes)	-	-	-	-	-	59,27	82,20	112,19	79,19	-	-	-
ETc (mm/día)	-	-	-	-	-	1,98	2,65	3,62	2,64	-	-	-
Pm (mm/mes)	65,78	105,23	105,38	89,74	34,79	10,65	9,26	9,80	19,08	80,82	62,19	70,73
Pe (mm/mes)	29,50	60,20	60,20	47,80	10,90	0	0	0	1,40	40,70	27,30	32,60
RReq (mm/mes)	-	-	-	-	-	59,3	82,2	112,2	77,8	-	-	-
RReq (mm/día)	-	-	-	-	-	1,98	2,65	3,62	2,59	-	-	-
RReq (m3/mes/ha)	-	-	-	-	-	592,7	822,0	1121,9	777,9	-	-	-
Superficie (ha)	-	-	-	-	-	0,20	0,20	0,20	0,20	-	-	-
RReq (m3/mes)	-	-	-	-	-	118,55	164,40	224,38	155,59	-	-	-
Eficiencia	-	-	-	-	-	0,75	0,75	0,75	0,75	-	-	-
RReq (m3/mes)	-	-	-	-	-	158,07	219,20	299,17	207,45	-	-	-
RReq (l/s)	-	-	-	-	-	0,06	0,08	0,11	0,08	-	-	-

El volumen máximo de agua que se requiere para el predio de estudio (0,20 ha) es de 0,11 l/s en el mes de agosto y el mínimo en el mes de junio con un valor de 0,06 l/s (Tabla 15).

6.2.1.2. Parámetros de riego.

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

$$LAA = \frac{CC - PMP}{100} * \frac{Da}{Dw} * P, ef$$

$$LAA = \frac{22,47\% - 12,21\%}{100} * \frac{1,4g/cm^3}{1g/cm^3} * 400 mm = 57,46 mm$$

El valor de LAA es de 57,46 mm a una profundidad radicular efectiva del maíz que es de 0,4 m equivalente a 400 mm, considerándose como la lámina de agua almacenada entre la CC y PMP de acuerdo a (L. Burbano et al., s. f.).

- **Lámina de agua rápidamente aprovechable LARA**

$$LARA = LAA * UR$$

$$LARA = 57,46 \text{ mm} * 0,5 = 28,73 \text{ mm}$$

Se obtuvo un valor de 28,73 mm de lámina de agua rápidamente aprovechable, considerando el 50 % establecido por Sawchik et al. (2000) para el cultivo de maíz; lo cual corresponde a un bajo contenido de humedad disponible en el suelo; indicándonos a la vez que es la cantidad de agua que debe quedar en la zona radicular de nuestro cultivo.

- **Frecuencia de riego**

$$Fr = \frac{LARA}{ETc \text{ max}}$$

$$Fr = \frac{28,73 \text{ mm}}{3,62 \text{ mm/día}} = 7,94 \text{ días}$$

Se obtuvo un valor de 7,94 días esto nos indica los días entre dos riegos sucesivos. Con el objetivo de establecer el calendario de riego, la frecuencia de riego se ajusta a un valor íntegro de días, mismo que no debe incrementar las dosis de lámina de agua aprovechable.

- **Frecuencia de riego ajustada (Frj)**

La frecuencia de riego se ajustó al valor entero inferior que es de 7 días, con esto permitirá disminuir la lámina de agua rápidamente aprovechable.

- **Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (LARA ajus)**

$$LARA \text{ ajus} = ETc \text{ max} * Fr \text{ ajus}$$

$$LARA \text{ ajus} = \frac{3,62 \text{ mm}}{\text{día}} * 7 \text{ días} = 25,34 \text{ mm}$$

Se obtuvo un valor de 25,34 mm de LARA ajustada a través del producto entre la ETc máxima, y la frecuencia de riego ajustada en este caso para 7 días.

- **Lámina de riego (Lr)**

$$Lr = \frac{LARA\ ajus}{Ea}$$

$$Lr = \frac{25,34\ mm}{0,75} = 33,78\ mm$$

Para la obtención de la lámina de riego; teniendo en cuenta a INIA (2017), se asimiló el 75 % de eficiencia de aplicación del método de riego por aspersión. Y así asegurar un nivel óptimo de humedad para el cultivo de maíz, de esta manera asegurar que la reserva de agua aprovechable no se agote totalmente hasta llegar al nivel de PMP, ocasionando diversas perturbaciones en el desarrollo de la planta (Guamán, 2021).

- **Selección del aspersor**

Características del aspersor (Anexo 8).

(Xcel-Wobbler ángulo amplio: aspersor de baja presión, NPT macho de 3/4").

Número de boquilla: 3,18 mm (Lavanda).

Caudal del aspersor: 180 a 1 584 l/h.

Presión del aspersor: 10 a 30 psi.

Altura del elevador: 0,50 a 1,22 m.

Diámetro húmedo: 14 m.

- **Marco de Riego**

Tarjuelo & Benito (2005) mencionan que para velocidades del viento con valores menores a 2 m/s, se debe considerar el 60 % del diámetro húmedo del aspersor seleccionado, tal como es en el caso de la zona de estudio que presenta un valor promedio de 2 m/s (Anexo 9), en consideración a ello y de acuerdo a las condiciones físicas del terreno se diseñó un marco de riego

de 8,4 m, pero tomándose en cuenta las sugerencias del fabricante se planteó un espaciamiento entre aspersores y laterales de un marco de 7 x 7 m (cuadrado).

- **Intensidad de precipitación del aspersor (I_p)**

$$I_p = \frac{Qa}{Sa * Sl}; \quad \text{condición } I_p \leq VIB$$

$$I_p = \frac{0,40m^3/h}{7m * 7m}$$

$$I_p = \frac{0,008163 m}{h} * \frac{1000 mm}{1m} = 8,1 mm/h$$

De acuerdo a los resultados se pudo comprobar que la intensidad de precipitación del aspersor seleccionado cumple con la siguiente norma; donde la intensidad de precipitación del aspersor debe ser menor o igual a la velocidad de infiltración básica ($I_p \leq VIB$), dándonos un valor de 8,1 mm/h siendo menor a la velocidad de infiltración básica 12,20 mm/h (VIB), lo cual nos indica que hemos seleccionado adecuadamente el aspersor.

- **Tiempo de riego (Tr)**

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

$$\frac{Tr = 33,78 mm}{8,1 mm/h} = 4,17 h$$

- **Número de aspersores por lateral (N AL)**

$$N AL = \frac{LTL}{Sa}$$

$$N AL = \frac{40 m}{7 m} = 5,71 \cong 5 \text{ aspersores}$$

Para el predio de estudio se diseñaron 6 laterales, los 5 primeros compuestos por 5 aspersores, mientras que el último lateral está conformado por 4 aspersores debido a las condiciones topográficas que presenta el terreno, con una longitud de 40 m.

- **Longitud del Lateral (LL)**

En relación al número y ubicación de los aspersores de cada lateral, se obtuvo como resultado 31,5 m de longitud de la lateral.

$$LL = Sa * (NAL - 0,5)$$

$$LL = 7m * (5 - 0,5) = 31,5 m$$

Para el último lateral se lo calculó de igual forma, dándonos como resultado un valor de 24,5 m de longitud de lateral.

- **Caudal del lateral (QL)**

$$QL = qa * NAL$$

$$QL = 0,40 m^3/h * 5 = 2 m^3/h \rightarrow 0,55l/s$$

Para el último lateral se obtuvo un caudal de 0,44 l/s.

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

Se lo determinó con base a la longitud del terreno, en dirección del secundario, y en relación al espaciamiento entre laterales; dándonos como resultado el valor de 6 laterales de acuerdo a las condiciones del terreno.

$$NL = \left(\frac{LTS}{SL} \right)$$

$$NL = \left(\frac{41 m}{7m} \right) = 5,86 laterales \cong 6 laterales$$

- **Caudal Secundario (Qs)**

$$Qs = QL * NL$$

$$Qs = (0,55 L/s * 5) + (0,44 L/s*1)$$

$$Qs = 2,75 \frac{L}{s} + 0,44 \frac{L}{s} = 3,2 L/s$$

Debido a las condiciones topográficas que presenta el área de estudio se obtuvieron 5 laterales con un caudal de 2,75 l/s y un sexto lateral con un valor de 0,44 l/s.

6.2.2. Diseño Hidráulico

- **Pérdidas de carga por fricción longitudinal**

Para el diseño hidráulico se calcularon las pérdidas por fricción en las tuberías; principal, múltiple (secundaria), lateral y accesorios; dándonos como resultado un valor de 1,86 m de pérdida de carga (Tabla 16), con base a los diámetros interiores de las tuberías y al caudal respectivo de las mismas. Cabe recalcar que se escogió un diámetro de 63 mm para la tubería principal y secundaria debido a que las pérdidas se hacen menores ya que en este caso tenemos una baja presión en el predio de estudio.

Para las velocidades de las tuberías en relación al diámetro interno se mantuvo valores que son adecuados a los rangos establecidos por Fernández (2020); velocidades menores a 2,5 m/s para tuberías principales y múltiples (secundarias), para laterales menor o igual a 2 m/s y mayor o igual a 0,5 m/s. En lo referente a las pérdidas por accesorios se los calculó con base a los coeficientes de pérdidas menores (Tabla 7).

Tabla 16

Pérdidas de carga por fricción en las tuberías, empleando el método de Hazen-Williams.

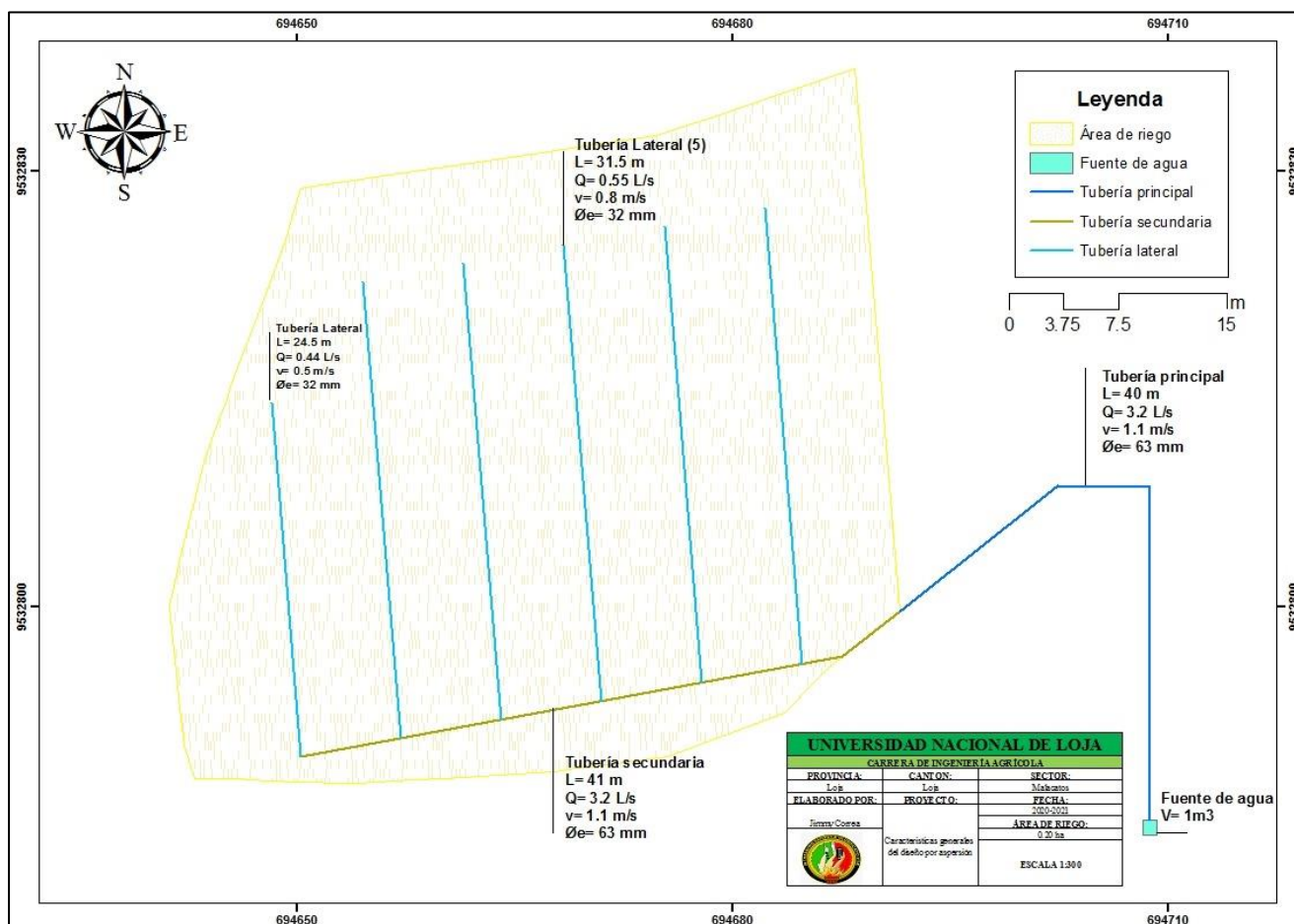
Tubería	Tipo	Caudal (l/s)	Longitud m	Presión MPa	Ø e (mm)	Ø i (mm)	Velocidad (m/s)	J (m/s)	F	hf (m)
Principal	PVC	3,2	40	0,63	63,0	59,8	1,1	0,02		0,86
Secundaria	PVC	3,2	41	0,63	63,0	59,8	1,1	0,02	0,28	0,24
Lateral 1	PVC	0,55	31,5	1,25	32,0	28,8	0,8	0,03	0,28	0,25
Lateral 2	PVC	0,33	24,5	1,25	32,0	28,8	0,5	0,01	0,32	0,09
Accesorios	PVC									0,41
									Hf Total	1,86

- **Presión del lateral**

Para determinar la presión máxima y mínima del lateral se seleccionó el más crítico, mismo que está ubicado en la parte inicial del sistema (lateral 1); debido a que por encontrarse en la parte más alta de la red múltiple (secundaria) tiene menor carga (Fig. 10).

Figura 10

Representación de laterales.



- **Presiones al origen del lateral 1**

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

$$\frac{P_o}{\gamma} = 15 \text{ m} + \left(\frac{3}{4} * 0,25\right) - \frac{2,5}{2} + 1 \text{ m} = 14,94 \text{ m}$$

- **Presión al final del lateral 1**

$$\frac{P_u}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4} H_f + \frac{H_g}{2}$$

$$\frac{P_u}{\gamma} = 15 \text{ m} - \left(\frac{1}{4} * 0,25\right) + \frac{2,5}{2} \text{ m} = 16,19 \text{ m}$$

Los resultados obtenidos por dicha lateral deben coincidir con la siguiente condición de no superar el 20 % de la presión nominal del aspersor; el cual coincide ya que la pérdida en el lateral más crítico de 0,25m, es menor que el rango permisible de 3m.

$$\frac{P_u}{\gamma} - \left(\frac{P_o}{\gamma} - H_a\right) = H_g - h_f \leq 0,2 \frac{P_a}{\gamma}$$

$$\frac{P_u}{\gamma} - \left(\frac{P_o}{\gamma} - H_a\right) = 2,5 \text{ m} - 0,25 \leq 0,2(15\text{m}) = 2,25 \text{ m} \leq 3\text{m}$$

- **Cálculo de la presión requerida en el sistema**

El diseño de riego cuenta con una presión de trabajo de 17,85 mca.

$$PT = hfp + hfs + hfl + hfac + Pa + Ha$$

$$PT = 0,86\text{m} + 0,24 + 0,34\text{m} + 0,41\text{m} + 15\text{m} + 1\text{m} = 17,85 \text{ m}$$

6.3. Costos del sistema de riego

Para el diseño de riego equivalente a una superficie de 0,20 ha, el costo de instalación es de \$1 229,69; debido a que se implementará la mayor parte de tuberías en material de PVC para lograr una mayor resistencia y durabilidad del sistema a diversos factores de deterioro de las mismas.

Tabla 17

Presupuesto de materiales y accesorios del Sistema de Riego.

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo (\$)	Total (\$)
Desbroce y limpieza	0,20	ha	90,00	18,00
Excavación sin clasificar a mano	6,30	m3	5,00	31,50
Hormigón simple f'c=140 kg/cm2 (Fuente de agua)	1,00	m3	16,00	16,00
Tubería PVC 2" 1/2 (63 mm), 0.63 Mpa	83,00	m	2,31	191,73
Tubería PVC 1" 1/4 (32 mm), 1.25 Mpa	179,50	m	1,17	210,02
Tubo PVC roscable de 3/4"	29,00	m	1,50	43,50
Codo E/C PVC de 45° de 2" 1/2	2,00	U	3,16	6,32
Codo E/C PVC de 45° de 1" 1/4	6,00	U	0,92	5,52
Codo E/C PVC de 90° de 2" 1/2 x 1" 1/4	1,00	U	2,10	2,10
Codo E/C PVC de 90° de 1" 1/4 x 3/4"	6,00	U	1,10	6,60
Codo E/C PVC de 90° de 2" 1/2	5,00	U	3,28	16,40
Tee reductora de 2" 1/2 X 1" 1/4 pegable	4,00	U	2,78	11,12
Tee reductora de 1" 1/4 x 3/4" pegable	23,00	U	2,50	57,50
Unión PVC roscable de 3/4 "	29,00	U	0,75	21,75
Aspersor Xcel Wobbler SENNINGER macho de 3/4"	29,00	U	7,00	203,00
Tapón H roscable de 1"	6,00	U	2,04	12,24
Adaptador PVC M de 32 mm x 1" 1/4	6,00	U	1,45	8,70
Adaptador PVC H de 63 mm a 2"	4,00	U	1,60	6,40
Collarín de 63 mm x 3/4"	1,00	U	2,00	2,00
Válvula angular RM 2"	1,00	U	25,00	2,00
Válvula bola con universal PVC de 63 mm	1,00	U	16,33	16,33
Válvula de doble acción de 3/4"	1,00	U	15,00	15,00
Filtro de anillas de 2" rosca macho (120 mesh, 20 m3/h)	1,00	U	21,76	21,76
Permatex	1,00	U	2,00	2,00
Teflón	1,00	U	1,00	1,00
Pegatubo PVC	2,00	litro	4,50	9,00
Relleno manual de zanjas	6,30	m3	4,00	25,20
Complementos				
Personal técnico	2,00	días	50,00	100,00
Instalador	2,00	días	30,00	60,00
Ayudante instalador	2,00	días	18,00	36,00
Maestro albañil	1,00	días	30,00	30,00
Ayudante albañil	1,00	días	18,00	18,00
Total				1229,69

7. CONCLUSIONES

- El predio motivo de estudio presenta un relieve moderadamente ondulado, se encuentra en la Formación Quillollaco, con suelos de orden Entisol, característico de suelos con un perfil poco desarrollado.
- El área de estudio para el diseño de riego tiene una superficie de 0,20 ha, los valores que se obtuvieron en sus características hidrofísicas son: CC = 22,47 %; PMP = 12,21 %; AA = 10,26 % y una porosidad de 23,62 %; correspondiente a un suelo de textura franco arcilloso (FoAc).
- En el diseño agronómico se determinó una frecuencia de riego de 7 días con un tiempo de riego de 4,17 horas, para proporcionar una lámina de riego de 33,78 mm; eligiéndose un aspersor modelo Xcel-Wobbler ángulo amplio, NPT macho de 3/4", utilizando un marco de riego recomendado por el fabricante (7x7 m), dotando de esta manera una intensidad de precipitación de 8,1 mm/h, misma que es menor a la velocidad de infiltración que presentó la superficie a regar (12,20 mm/h).
- De acuerdo a las condiciones topográficas que presenta la superficie del predio se determinó 5 laterales compuestos por 5 aspersores cada uno y un sexto lateral conformado por 4 aspersores.
- El diseño hidráulico del sistema de riego consistió en determinar las redes de tuberías principal, secundaria (múltiple), lateral y elevador de PVC, con diámetros de 63 mm, 32 mm y 20 mm, respectivamente; obteniéndose una pérdida de carga por fricción de 1,44 en las tuberías, y de 0,41m en relación a todos los accesorios.

8. RECOMENDACIONES

- La implementación del riego por aspersión ayudará a las familias a optimizar el uso del agua, incrementar y conservar la fertilidad del suelo de sus predios.
- Para una mejor resistencia y durabilidad del sistema de riego es conveniente utilizar una red de tuberías PVC, enterrándolas a una profundidad de 0,30 a 0,40 m, para así evitar varios factores que dañen su vida útil, como es el tránsito peatonal, animal y de maquinaria, corrosión, temperaturas elevadas, etc.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, A. G. L., & Licuy, L. G. (2019). *Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana*. 330.
- ABC Rural. (2014). *Importancia del riego en agricultura—ABC Rural—ABC Color*.
<https://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/abc-rural/importancia-del-riego-en-agricultura-1284503.html>
- Aguilar, S. (2005). *Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud*. 7.
- Aguinsaca, D. (2020). *Diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo y microaspersión en el predio “la dolorosa” de la parroquia chuquiribamba, cantón y provincia de Loja* [Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23303/1/Diana%20Elizabeth%20Aguinsaca%20Medina.pdf>
- Alocén, J. C. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. 218.
- Alucho, Á. (2020). “*La Heliofanía y su relación directa con el desarrollo fenológico y fenométrico del cultivo de rosas en el Ecuador*” [Universidad Técnica de Babahoyo].
<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8432/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000277.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Anguella, G., Frías, C., & Salgado, R. (2016). *Conceptos básicos de las relaciones Agua-Suelo-Planta*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua_suelo_planta.pdf
- Baroja, G. (2014). *Hablemos de riego*. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/hablemos-de-riego-low.pdf>

- Bejar Pulido, S., Silva, I., Yáñez, I., & Luna Robles, E. (2020). Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.666>
- Benítez, P. (2012). “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia Malacatos perteneciente al cantón Loja”. [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/14671/1/Benitez%20Medina%2C%20Paulina%20del%20Cisne.pdf>
- Burbano, L. L., Puentes, G., & Guerrero, H. B. (1999). Importancia de los parámetros hidrofísicos del suelo y requerimientos hídricos del cultivo en el diseño de un proyecto de riego por aspersión liviana. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 16(1 y 2), Article 1 y 2. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1105>
- Cadena, V. H. (2016). *Hablemos de Riego*. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>
- Campero, G. (s. f.). *Diseño y construcción de un sistema de drenaje superficial, en el predio “Montero” (página 2)*—*Monografias.com*. Recuperado 28 de noviembre de 2021, de <https://www.monografias.com/trabajos82/disenio-sistema-drenaje-superficial/disenio-sistema-drenaje-superficial2.shtml>
- Cardozo, M., & Diaz, M. (2014). *Diseño de un sistema de riego por aspersión la finca el cedro ubicada en el municipio de Aquitania*. 38.
- Carvajal, R. R. (1997). *Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos*. 24.
- Castrillo, S. A., & Paoli, H. (2008). *Clasificación taxonómica de los suelos del este salteño según el soil taxonomy y su adecuación a un S.I.G.* 94.

- Cevallos, M. (2019). *Plan de Ordenamiento Territorial de la parroquia de Cahuasqui*.
<https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes programas/PDOT/Parroquial/PDOT%20CAHUASQUI.pdf>
- Chamba, E., & Chuncho, J. (2011). “*Estudio de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación y temperatura, ligada al cambio climático, en la provincia de LOJA*”
[Universidad Nacional de Loja].
[https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5347/1/estudio%20de%20la%20variabilidad%20espacial%20y%20temporal%20de%20la%20precipitaci% c3%93n%20y%20temperatura.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5347/1/estudio%20de%20la%20variabilidad%20espacial%20y%20temporal%20de%20la%20precipitaci%c3%93n%20y%20temperatura.pdf)
- Collahuazo, Á., Procel, S., Ñauta, P., Ramón, R., & Benitez, P. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Malacatos del cantón Loja*.
- Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador. (2017). *Hablemos de riego*.
- Contreras, S. (2015). *Análisis de la evolución de la Gestión, uso y cobertura vegetal del suelo del bosque protector Aguarongo y sectores colindantes, área de estudio: San Juan y Jadán*.
[Universidad Politécnica Salesiana De Cuenca].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11983/1/UPS-CT005749.pdf>
- FAO. (s. f.). *Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar*.
<https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s02.pdf>
- FAO. (2012). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura: La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ; Mundi-Prensa.

Fernández, F. (s. f.). *Cálculo de la red de riego*.

<http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/567/Anejo%2015%20Caluclo%20red%20de%20riego.pdf?sequence=20&isAllowed=y>

Fernández, K. M. (2020). *Mejoramiento de la calidad de la gramilla en el estadio quincho barquero, mediante el diseño del sistema de riego para campos deportivos profesionales en Paraíso, Cartago*. 144.

Franco, V. A. (2018). *Evaluación de la eficiencia del método de riego por goteo* [Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ciencias Agropecuarias].

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27290/1/Tesis191%20%20Ingenier%20C3%ada%20Agron%C3%b3mica%20-CD%20563.pdf>

Galárraga, R. (2010). *Estado y Gestión de los Recursos Hídricos en el Ecuador*. <http://avias-aguassubterraneas.blogspot.com/2010/04/estado-y-gestion-de-los-recursos.html>

Gallegos, C. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de riego presurizado para pastos en la finca Landapo de la parroquia Lauro Guerrero, Cantón Paltas, Provincia de Loja*.

<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12733>

García, J., Sosa, F., & Fernández, J. (2010). *El Agua del Suelo*.

<file:///C:/Users/USER/Downloads/Agua%20del%20Suelo%20X.pdf>

Genovez, D. (2018). *Análisis de precipitaciones y elaboración de hietogramas de diseño para la ciudad de Cuenca*. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8278/1/14001.pdf>

Gómez, R. (2010). *Riego por Superficie*.

https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego_por_superficie_baja.pdf

- Guamán, M. (2021). *Diseño de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de maíz (Zea mays) en el predio agrícola “El Almendro” del barrio La Vega, parroquia y cantón Catamayo, provincia de Loja* [Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23904/1/Maribel%20Andreina%20Guam%C3%A1n%20Zhingre.pdf>
- INIA. (2015). *Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas*.
<http://inia.uy/documentos/p%C3%ABablicos/inia%20tacuaremb%C3%B3/2015/el%20suelo%20de%20mayo.pdf>
- INIA. (2017, agosto 4). *Sequía y Manejo Del Recursos Hídricos, Esencial para la Agricultura*.
Seminis. <https://www.seminis-las.com/sequia-y-recursos-hidricos/>
- Jiménez, R. (2019). *Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersión utilizando un equipo motobomba en la Finca San José* [Universidad Nacional de Loja].
<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/22595>
- Jiménez, S. (2019). *Diseño hidráulico de tuberías con salidas múltiples mediante métodos numéricos*. <https://www.hidraulicafacil.com/2019/05/disen%C3%B3-hidraulico-de-tuberias-con.html>
- Lamo, J. (s. f.). *Manual de métodos de riego*. <https://fundacionsuna.org/wp-content/uploads/pdf/jaime-lamo/manual-m%C3%89todos-de-sistemas-de-riego.pdf>
- Linés, A. (2010). *Clima y cambio climático*.
- Luszczewski, A. (2004). *Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores*. Reverte.
- Maquera, L. (2014). *“Evaluación económica del sistema de riego tecnificado en el cultivo de alfalfa (Medicago sativa L.) en Vilcallami-Juli”* [Universidad Nacional del Altiplano].

- http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10980/Maquera_Mollinedo_Luis_Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- María, L. P. G., & Rafael, Z. M. A. (2016). *Diagnóstico de la fertilidad del suelo en el área de investigación, innovación y desarrollo de la Espam- mfl. Autores: 75.*
- Martin, E. C. (2021). *Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo? 9.*
- Martín-Benito, J. M. T. (1991). *El riego por aspersión.* Universidad de Castilla La Mancha.
- Miranda, J. (1984). *José Joaquín Miranda G. Agrológico.* 30.
- Monge, M. (2018). *Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión.*
- <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/disen-agronomico-e-hidraulico-riegos-contenido>
- Núñez, A. (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego.*
- https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manualriego/cuadernillo_eficiencia_dgiar.pdf
- Pachés, M. (2011). *El agua en el suelo: Fuerzas de retención.*
- <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/121154/Pach%C3%A9s%20E1%20agua%20en%20el%20suelo.%20Fuerzas%20de%20retenci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PDOT. (2015). *Componente Biofísico.* http://app.sni.gob.ec/sinlink/sni/portal_sni/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1460016530001_pdot_parroquia_alshi_2015_v01_15-10-2015_19-53-12.pdf
- PDOT. (2019). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Chambo.* https://www.gobiernodechambo.gob.ec/chambo/images/pdyot_-_parteiv.pdf

- Perea, M. de los R. S. (2015). *UF0012—Manejo, riego y abonado del suelo*. Editorial Elearning, S.L.
- Ramos, M., & Báez, D. (2013). “*Diseño y construcción de un sistema de riego por aspersión en una parcela demostrativa en el cantón Cevallos*” [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2677/1/25T00208.pdf>
- Rivas, D. (2018). *El clima, caracteres, causas, clasificación, fenómenos y alteraciones climáticas. Aplicación didáctica*.
<https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/une/4103/e1%20clima,%20caracteres,%20causas,%20clasificaci%3b3n.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Salvatierra, J. (2018). *Medición de caudal*.
https://www.slideshare.net/jhonsversalvatiera/95004915informemediciondecaudal?fbclid=iwar1ujdptju0cnwkgb2ngutmd7e9f5058fnnvgeuks90uz7z7gaaiohtbn_0a
- Sánchez, E., & Vinuesa, C. (2007). *Optimización del Recurso Hídrico mediante el cambio de Método de Riego en la Comuna de Monjas Alto, Cantón Cayambe*.
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/132/5/03%20rec%2088%20marco%20teorico.pdf>
- Sánchez, I. (2017). Modelo de simulación de la red de suministro de agua potable para el núcleo urbano de Canyelles (Barcelona). [Universidad Politécnica de Cataluña].
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/112160/memoria.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Santana, L. (2008). *Evapotranspiración Penman-Monteith*.
<http://www.agrocabildo.org/publica/analisisclimatico/evapotrans2008.pdf>

- Santillán, K., & Zamora, B. (2021). *Análisis climático y de cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito* [Universidad Politécnica Salesiana sede Quito].
<file:///c:/users/user/downloads/ups%20-%20tts293.pdf>
- Sawchik, J., Formoso, F., & Romero, R. (2000). *Inserción del riego en rotaciones de cultivos y pasturas*. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10424/1/70.pdf>
- Segarra, G., Castro, S., Mendieta, D., Gozález, S., Salcedo, L., & Lituma, I. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Malacatos*.
http://app.sni.gob.ec/snilink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1160031040001_PDyOT%20Malacatos_18-05-2016_10-23-12.pdf
- SIGTIERRAS. (2017). *Mapa de órdenes de suelos del Ecuador*.
Http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/memoria_mapa_de_ordenes_de_suelos_mag_sigtierras.pdf
- Silva, P., Silva, H., Garrido, M., & Acevedo, E. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*. 86.
- Silvestre, H. N. M. (2015). *Efecto del umbral de riego durante la etapa de elongación*. 74.
- Solís, J., & Yacelga, C. (2018). *Diseño del sistema de riego por aspersión para el sector 5, Comuna Carrera, Parroquia Cangahua, Cantón Cayambe, Provincia de Pichincha*. [Universidad Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14882/1/t-uce-0011-ic345-2018.pdf>
- Soubannier, J. S. L. (1985). *Riego Y Drenaje*. EUNED.
https://books.google.com.ec/books?id=_yuPFwKJ6ywc&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Tarjuelo, J., & Benito, M. (2005). *El riego por aspersión*.
https://ruralcat.gencat.cat/migracio_resources/633281_tarjuelo.pdf
- Tavera, J. P. B., Duque, V. C., & Muñoz, D. R. (2015). *Determinación de curvas de retención de agua para suelos no saturados y su relación con la estabilidad de taludes*. 148.
- Ureña, G. (2017). *Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de maíz (zea mays), mediante el lisímetro volumétrico, en el sector el porvenir perteneciente al sistema de riego Campana-Malacatos* [Universidad Nacional de Loja].
[https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/19355/1/Gabriela%20del%20Cisne%20Ure%
%c3%b1a%20Ordo%
%c3%b1ez.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/19355/1/Gabriela%20del%20Cisne%20Ure%c3%b1a%20Ordo%c3%b1ez.pdf)
- Valarezo, M. L. (2013). *Sistemas de riego por presión*. Loja, Ecuador.
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., & Cañamero, M. (2017). *Fundamentos de la Ingeniería de riego*. https://drive.google.com/file/d/liabp_58sreuywyh-_yeyz7cjhrttsf/view
- Vélez, W. J. R. (2020). *Componente económico productivo del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2017-2018 y su incidencia en el cantón Rocafuerte*. 87.
- Yambombo, J. (2012). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas de carga en tuberías y accesorios*. [Universidad Central del Ecuador].
<File:///c:/users/user/downloads/t-uce-0011-14.pdf>
- Yanangómez, L. (2018). *Evaluación del requerimiento hídrico del cultivo de maíz morado (Zea mays l.) en la parroquia Malacatos sector "San José"* [Universidad Nacional de Loja].
[https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21176/1/luis%20vicente%20yanang%
%c3%93mez%20agila.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21176/1/luis%20vicente%20yanang%20mez%20agila.pdf)
- Zapata, M. A. M. (2014). *"Diseño de un sistema de riego parcelario para el sistema de riego Pastora Alomia, en el Cantón Montufar, parroquia La Paz, Provincia del Carchi."*

[Universidad Internacional sek].

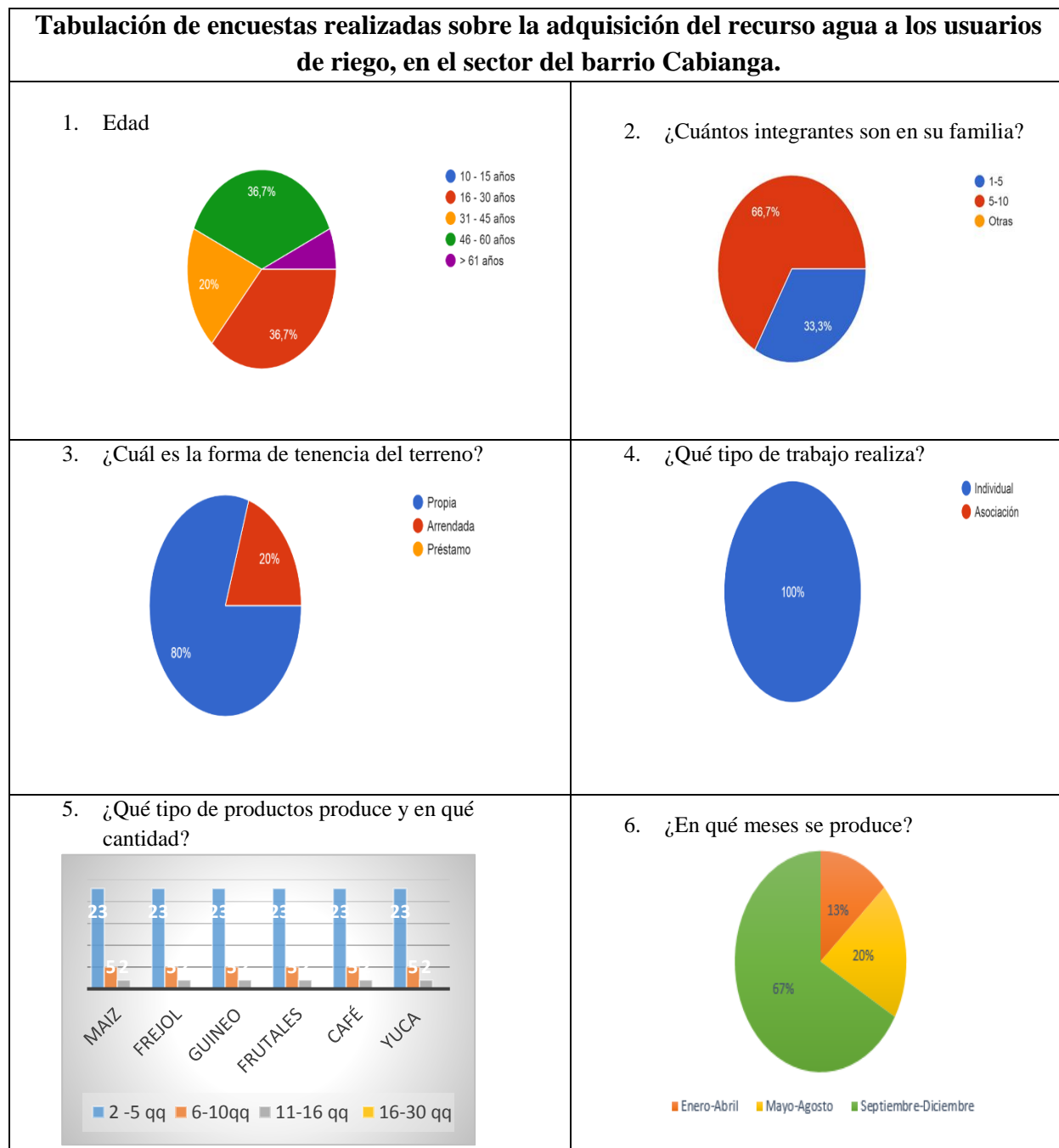
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/964/1/tesis%20marco%20mena.pdf>

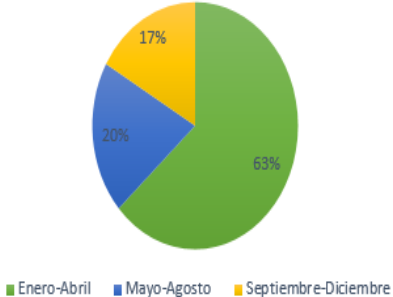
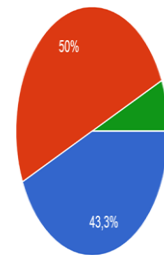
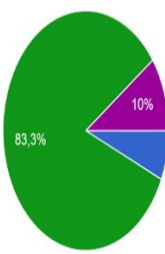
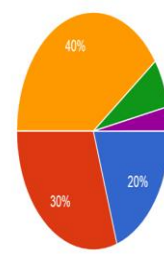
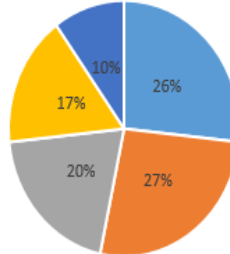
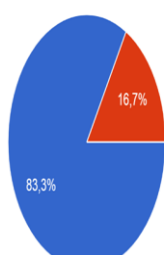
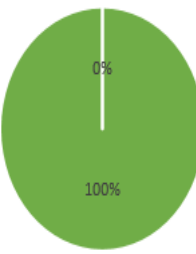
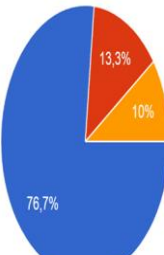
Zapatta, A., & Gasselin, P. (2005). *El riego en Ecuador: Problemática, debate y políticas*.

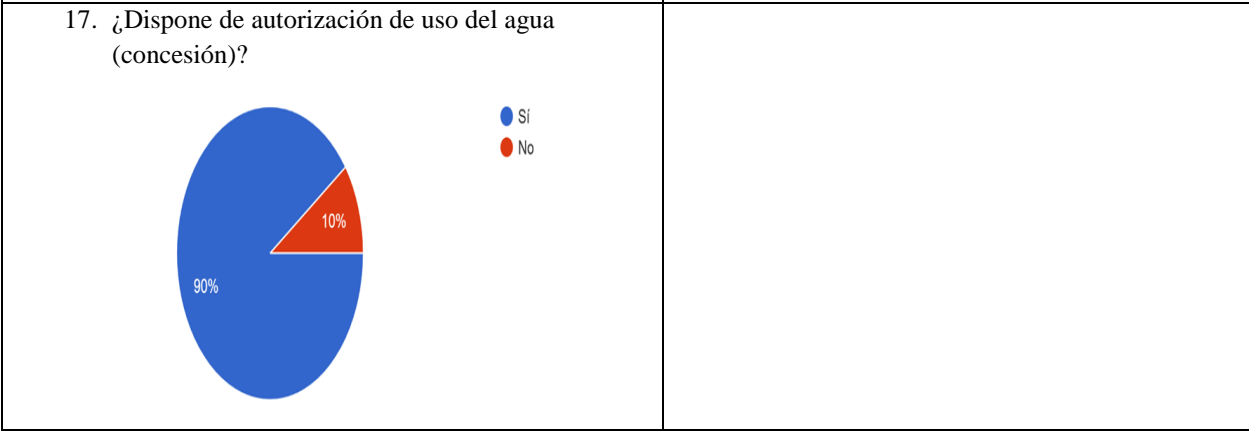
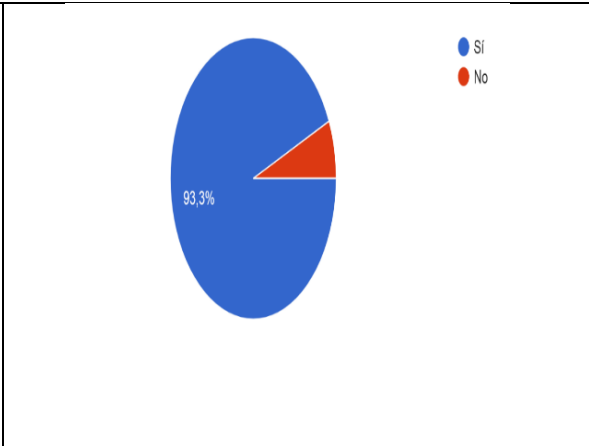
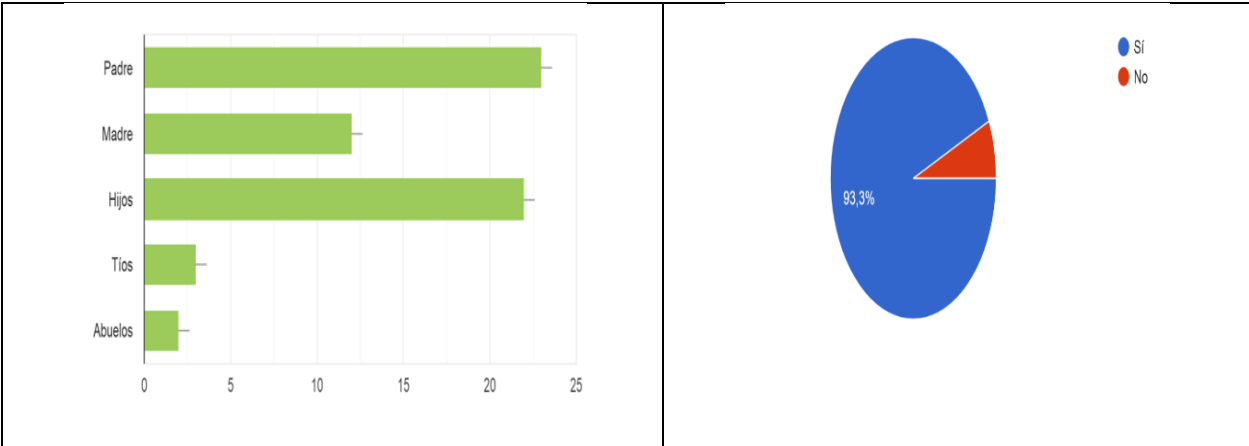
https://www.researchgate.net/publication/266564765_El_riego_en_Ecuador_problematika_a_debate_y_politicas

10. ANEXOS

Anexo 1. Tabulación de encuestas realizadas sobre la adquisición del recurso agua a los usuarios de riego, en el sector del barrio Cabianga.



<p>7. ¿En qué meses se cosecha?</p>  <p>■ Enero-Abril ■ Mayo-Agosto ■ Septiembre-Diciembre</p>	<p>8. ¿Con qué tipo de riego cuenta su predio?</p>  <ul style="list-style-type: none"> ● Por surcos ● Inundación ● Melgas ● Aspersión ● Micro-aspersión ● Goteo
<p>9. ¿Fuente de agua?</p>  <ul style="list-style-type: none"> ● Río ● Quebrada ● Acequia ● Canal ● Ojo de agua 	<p>10. ¿Con qué periodicidad se riega?</p>  <ul style="list-style-type: none"> ● Entre 2 - 5 días ● Entre 6 - 10 días ● Más de 15 días ● Semanal ● Mensual
<p>11. ¿Cuál es su superficie de riego?</p>  <ul style="list-style-type: none"> ■ <1000 m2 ■ 1000 m2 ■ 2000 m2 ■ 3000 m2 ■ >3000 m2 	<p>12. ¿Existe algún organismo que regule el uso del agua en la comunidad?</p>  <ul style="list-style-type: none"> ● Si ● No
<p>13. ¿Cómo determina el volumen de agua que usa en su predio y cuánto usa?</p>  <ul style="list-style-type: none"> ■ De acuerdo al área del terreno ■ Otros métodos 	<p>14. ¿En qué horario aplica el riego?</p>  <ul style="list-style-type: none"> ● Mañana ● Tarde ● Noche
<p>15. ¿Qué personas asumen la tarea de riego?</p>	<p>16. ¿Realiza algún pago por el uso del agua?</p>



Anexo 2. Implementación de calicata para medir la profundidad del suelo y raíz de los cultivos.




Anexo 3. Levantamiento topográfico.



Anexo 4. Medición de la velocidad de infiltración



Anexo 5. Resultados de análisis de las propiedades hidrofísicas del suelo del predio de estudio.

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 2

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-006

Informe N°: LN-SFA-E20-1647
 Fecha emisión Informe: 18/01/2021

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Jimmy Roberto Correa Tamayo
 Dirección¹: Malacatos
 Provincia¹: Loja Cantón¹: Loja
 Teléfono¹: 0988327512
 Correo Electrónico¹: jimmycorrea@hotmail.com
 N° Orden de Trabajo: 11-2020-297
 N° Factura/Documento: 012-001-0775


DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra ¹ : Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo ¹ : Maíz		
Provincia ¹ : Loja	Coordenadas ¹ :	X: ---
Cantón ¹ : Loja		Y: ---
Parroquia ¹ : Malacatos		Altitud: ---
Muestreado por ¹ : Jimmy Correa		
Fecha de muestreo ¹ : 03-12-2020	Fecha de inicio de análisis: 14-12-2020	
Fecha de recepción de la muestra: 14-12-2020	Fecha de finalización de análisis: 18-01-2021	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-20-1760	Muestra 2 Plan B	pH a 25 °C	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	7,07
		Porosidad*	Cálculo PEE/SFA/25	%	23,62
		Humedad Equivalente*	Centrífuga PEE/SFA/21	%	22,94
		Capacidad de Campo*	Centrífuga PEE/SFA/21	%	22,47
		Punto de Marchitez*	Centrífuga PEE/SFA/21	%	12,21
		Agua Aprovechable*	Centrífuga PEE/SFA/21	%	10,26
		Arena*	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	28
		Limo*	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	40
		Ardilla*	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	32
		Clase Textural*	Cálculo PEE/SFA/20	---	Franco Arcilloso

Analizado por: Katty Pastás, Luis Cecuango

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL H110 Y ZOOSANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 5 Hoja 2 de 2

Observaciones:

- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
- Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
- Las interpretaciones que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA, COSTA Y AMAZONÍA					
	ÁCIDO	LIGERAMENTE ÁCIDO	PRÁCTICAMENTE NEUTRO	LIGERAMENTE ALCALINO	ALCALINO
pH	≤ 5,5	> 5,5 – 6,5	> 6,5 – 7,5	> 7,5 – 8,0	> 8,0

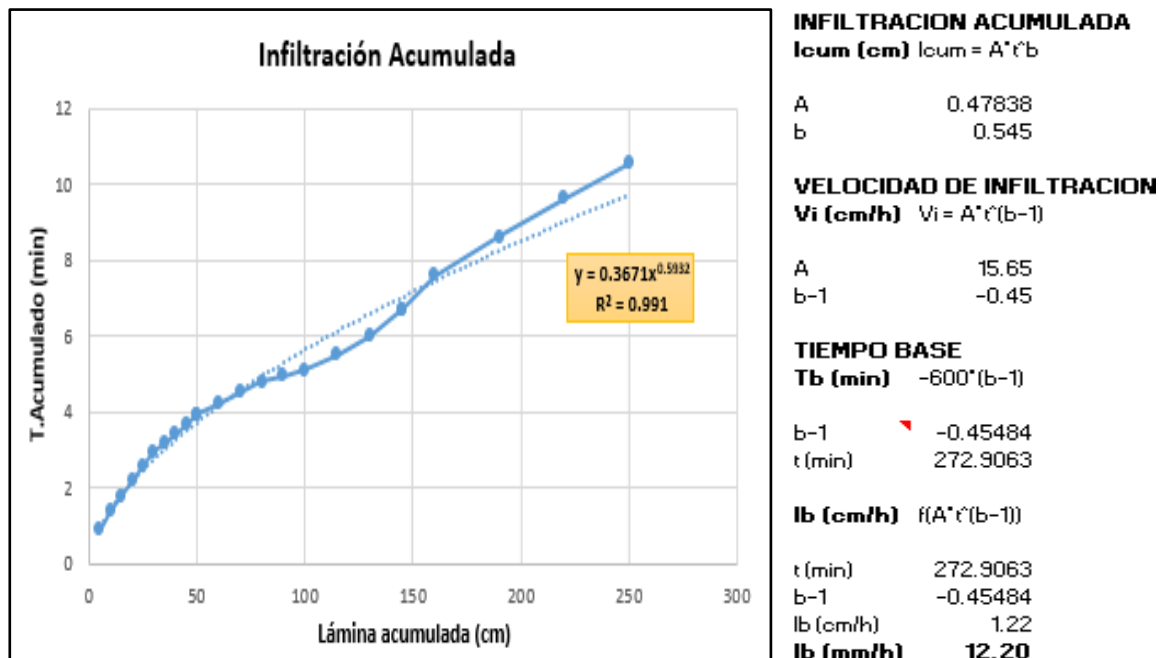
FUENTE: INIAP. EESC. 2002



El presente documento es
 AUTÓGRAFO
 DIGITALMENTE
 FIRMADO

Q. A. Luis Cacuango
 Responsable de Laboratorio
 Suelos, Foliar y Aguas

Anexo 6. Velocidad de infiltración de la zona de estudio.



TIEMPO	LÁMINA (cm)	Tiempo (min)	T.acum (min)	Tiempo (min)	T.acum (min)	I.acum cm	V.I.I cm/h
12:25	0,9	0:05	0:05	5	5	0,9	10,8
12:30	0,5	0:05	0:10	5	10	1,4	6
12:35	0,4	0:05	0:15	5	15	1,8	4,8
12:40	0,4	0:05	0:20	5	20	2,2	4,8
12:45	0,4	0:05	0:25	5	25	2,6	4,8
12:50	0,36	0:05	0:30	5	30	2,96	4,32
12:55	0,23	0:05	0:35	5	35	3,19	2,76
13:00	0,23	0:05	0:40	5	40	3,42	2,76
13:05	0,23	0:05	0:45	5	45	3,65	2,76
13:10	0,28	0:05	0:50	5	50	3,93	3,36
13:20	0,28	0:10	1:00	10	60	4,21	1,68
13:30	0,3	0:10	1:10	10	70	4,51	1,8
13:40	0,3	0:10	1:20	10	80	4,81	1,8
13:50	0,15	0:10	1:30	10	90	4,96	0,9
14:00	0,15	0:10	1:40	10	100	5,11	0,90
14:15	0,4	0:15	1:55	15	115	5,51	1,6
14:30	0,5	0:15	2:10	15	130	6,01	2
14:45	0,7	0:15	2:25	15	145	6,71	2,8
15:00	0,9	0:15	2:40	15	160	7,61	3,6
15:30	1	0:30	3:10	30	190	8,61	2
16:00	1,02	0:30	3:40	30	220	9,63	2,04
16:30	0,9	0:30	4:10	30	250	10,53	1,8

Anexo 7. Datos de las etapas fenológicas y Kc del maíz, según Ureña (2017).

Etapas Fenológicas	Días	t(días acumulados)	Kc
		0	0,64
Fase inicial	8	8	0,64
Fase de crecimiento	53	61	0,80
Fase de desarrollo	35	96	1,07
Fase final	21	117	0,77

Anexo 8. Características del aspersor seleccionado.

Angulo Amplio



El Xcel-Wobbler de Senninger maximiza el área de cobertura. Su exclusiva acción rotativa oscilante produce una cobertura sumamente uniforme a bajas presiones y con una pérdida mínima por evaporación.

Características:

- Su nuevo diseño balanceado produce un rendimiento suave y estable.
- Posee una sola parte móvil para una mayor vida útil.
- Tamaños de entrada 1/2"ó 3/4" NPT macho.
- Caudales: 0.78 á 6.97 gpm (180 a 1584 L/hr)
- Baja deriva por viento y baja pérdida evaporativa a presiones reducidas.
- Fabricado para ser resistente y durable, utilizando termoplásticos de grado ingeniería de alto impacto, sin partes metálicas.
- Dos años de garantía para materiales, mano de obra y performance.
- Boquillas codificadas por color para una fácil identificación de tamaño / con garantía de que conservarán el tamaño correcto de orificio durante cinco años.



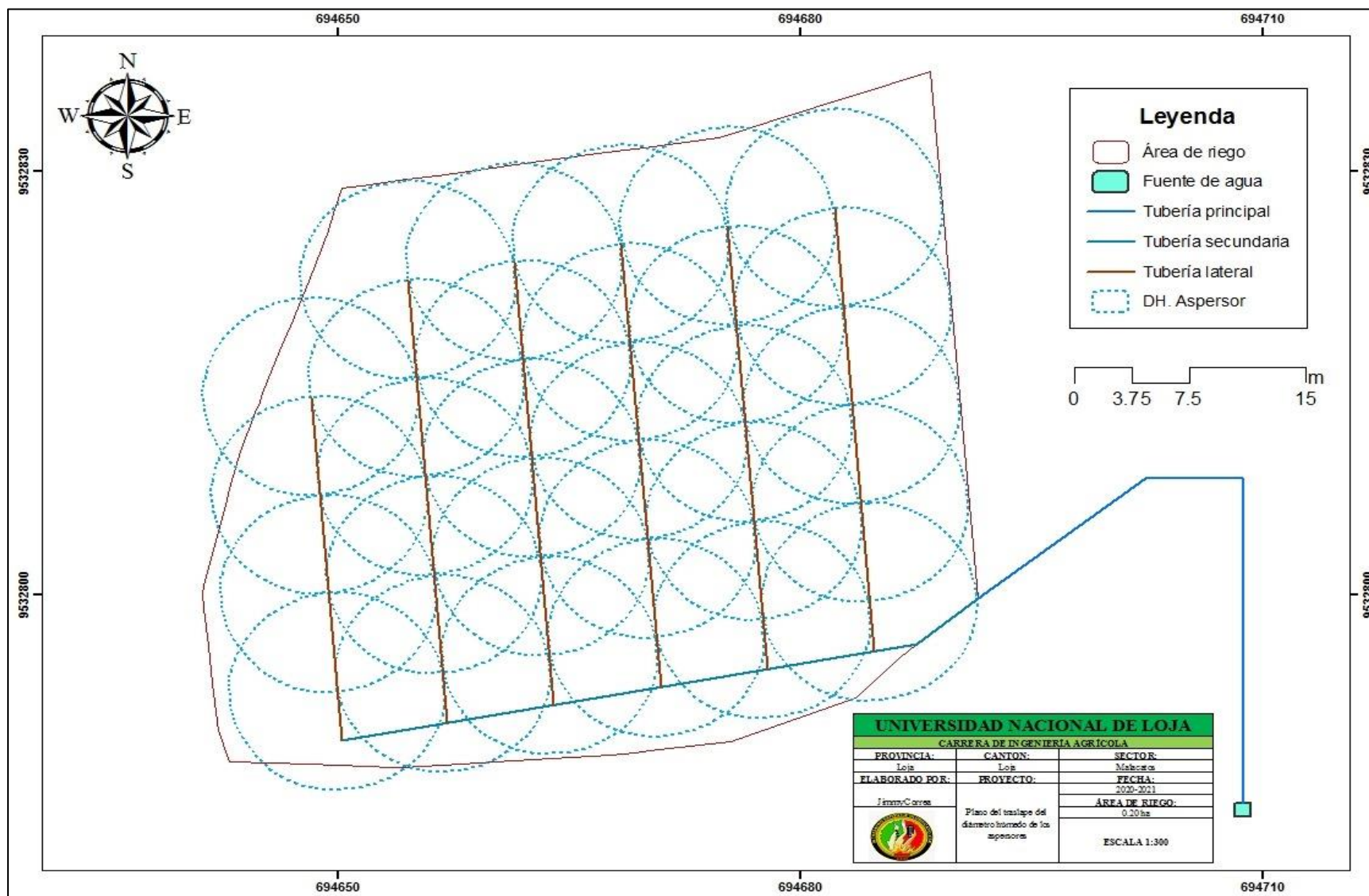

Datos de U.S.A.				Datos					
Presión en la base del aspersor [psi]				[bar] Métricos					
	10	15	20	0.75	1.0	1.5	1.75		
Boquilla #6 - Dorada [3/32"]				Boquilla #6 - Dorada [2.38mm]					
Caudal [gpm]	0.78	0.95	1.10	1.23	Caudal [L/hr]	180	216	252	288
HA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	37	41	45	46	HA Diam. at 0.5m ht [m]	11.4	12.4	13.8	14.0
MA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	32	35	39	41	MA Diam. at 0.5m ht. [m]	9.9	10.6	12.0	12.6
Boquilla #7 - Lima [7/64"]				Boquilla #7 - Lima [2.78mm]					
Caudal [gpm]	1.06	1.30	1.50	1.68	Caudal [L/hr]	252	288	360	396
HA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	40	47	47	51	HA Diam. at 0.5m ht [m]	12.5	14.0	14.7	15.5
MA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	33	37	41	41	MA Diam. at 0.5m ht. [m]	10.2	11.0	12.4	12.5
Boquilla #8 - Lavanda [1 1/4"]				Boquilla #8 - Lavanda [3.18mm]					
Caudal [gpm]	1.40	1.71	1.98	2.21	Caudal [L/hr]	324	396	468	504
HA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	42	47	47	52	HA Diam. at 0.5m ht [m]	13.0	14.0	14.8	15.8
MA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	34	39	41	43	MA Diam. at 0.5m ht. [m]	10.6	11.6	12.7	13.0
Boquilla #9 - Gris [9/64"]				Boquilla #9 - Gris [3.57mm]					
Caudal [gpm]	1.80	2.20	2.54	2.84	Caudal [L/hr]	432	504	612	648
HA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	44	47	51	53	HA Diam. at 0.5m ht [m]	13.6	14.2	15.6	16.0
MA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	35	41	42	43	MA Diam. at 0.5m ht. [m]	10.8	12.2	12.9	13.1
Boquilla #10 - Turquesa [5/32"]				Boquilla #10 - Turquesa [3.97mm]					
Caudal [gpm]	2.22	2.72	3.14	3.51	Caudal [L/hr]	540	612	756	828
HA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	45	49	51	54	HA Diam. at 0.5m ht [m]	13.8	14.8	15.7	16.4
MA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	36	41	43	44	MA Diam. at 0.5m ht. [m]	11.2	12.3	13.1	13.4
Boquilla #11 - Amarilla [1 1/4"]				Boquilla #11 - Amarilla [4.37mm]					
Caudal [gpm]	2.69	3.30	3.81	4.26	Caudal [L/hr]	648	720	900	972
HA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	45	51	52	54	HA Diam. at 0.5m ht [m]	13.9	15.2	16	16.5
MA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	36	42	43	44	MA Diam. at 0.5m ht. [m]	11.3	12.5	13.2	13.4
Boquilla #12 - Roja [3/16"]				Boquilla #12 - Roja [4.76mm]					
Caudal [gpm]	3.23	3.96	4.57	5.11	Caudal [L/hr]	756	900	1080	1188
HA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	46	51	52	55	HA Diam. at 0.5m ht [m]	14.3	15.3	16.1	16.7
MA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	37	42	45	45	MA Diam. at 0.5m ht. [m]	11.4	12.5	13.6	13.6
Boquilla #13 - Blanca [1 3/64"]				Boquilla #13 - Blanca [5.16mm]					
Caudal [gpm]	3.80	4.65	5.38	6.01	Caudal [L/hr]	900	1044	1260	1368
HA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	47	51	53	56	HA Diam. at 0.5m ht [m]	14.4	15.4	16.3	17.0
MA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	37	42	45	45	MA Diam. at 0.5m ht. [m]	11.4	12.5	13.6	13.7
Boquilla #14 - Azul [7/32"]				Boquilla #14 - Azul [5.56mm]					
Caudal [gpm]	4.40	5.39	6.23	6.97	Caudal [L/hr]	1044	1188	1476	1584
HA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	47	51	53	56	HA Diam. at 0.5m ht [m]	14.5	15.4	16.4	17.0
MA Diam. at 1.5' ht. [ft.]	37	43	45	47	MA Diam. at 0.5m ht. [m]	11.6	12.8	13.9	14.2

Hay otros tamaños de boquillas disponibles.

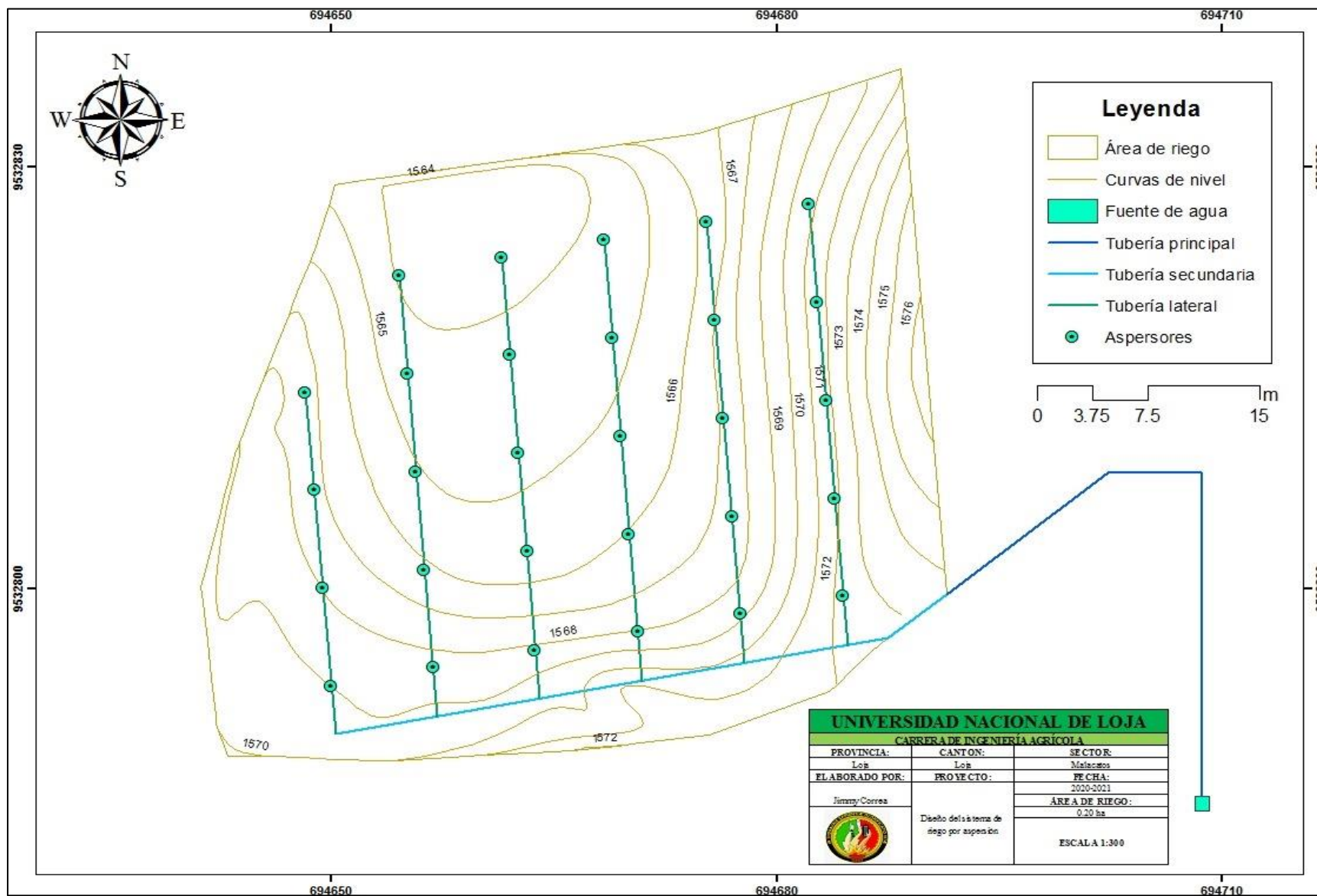
Anexo 9. Valores de la velocidad del viento de la zona de estudio.

VELOCIDAD DEL VIENTO (ESTACIÓN MALACATOS)													
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
Velocidad (km/h)	6,5	6,5	7,0	7,5	7,7	7,5	8,0	7,8	8,2	7,5	7,2	6,5	7,3
Velocidad (m/s)	1,8	1,8	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,1	2,0	1,8	2,0

Anexo 10. Plano de traslape del diámetro húmedo de los aspersores.

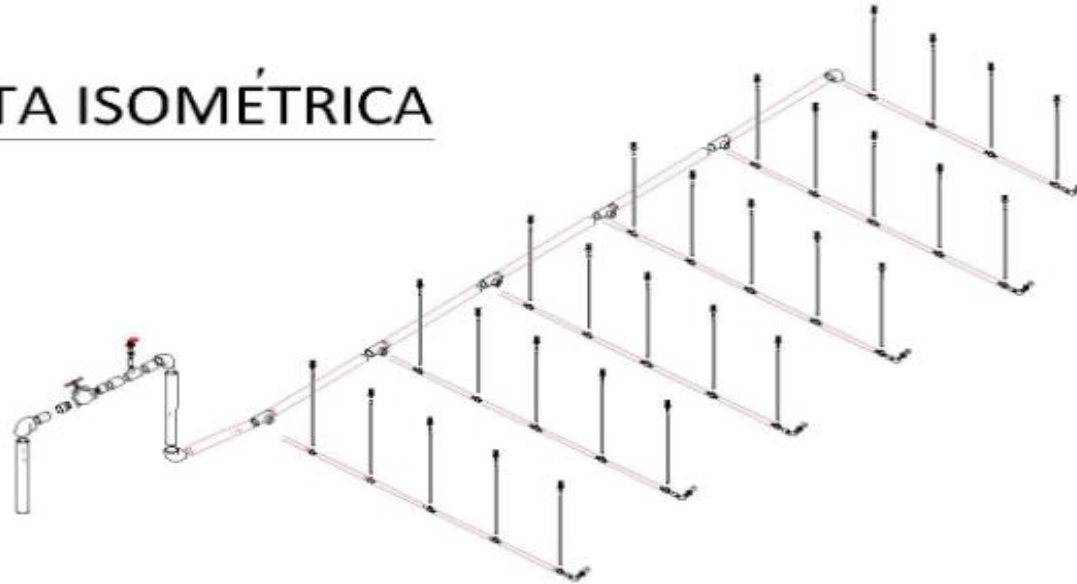


Anexo 11. Diseño del sistema de riego por aspersión.



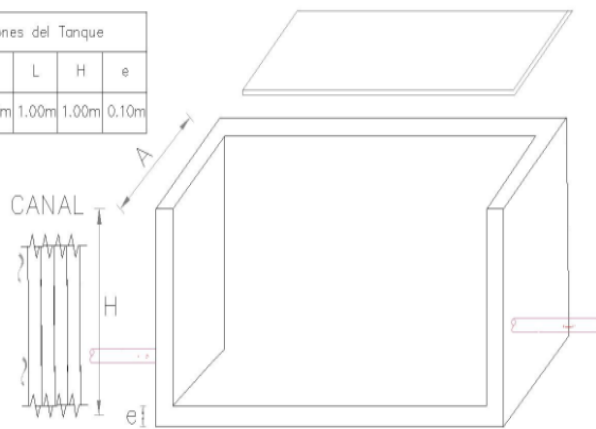
Anexo 12. Detalles técnicos del sistema de riego por aspersión.

VISTA ISOMÉTRICA

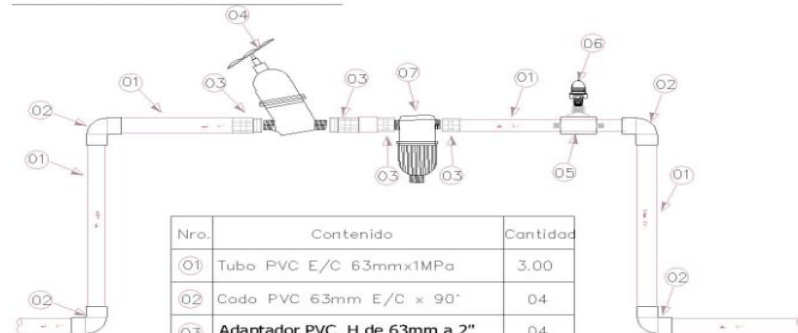


FUENTE DE AGUA

Dimensiones del Tanque				
Parámetros	A	L	H	e
Dimensiones	1.00m	1.00m	1.00m	0.10m



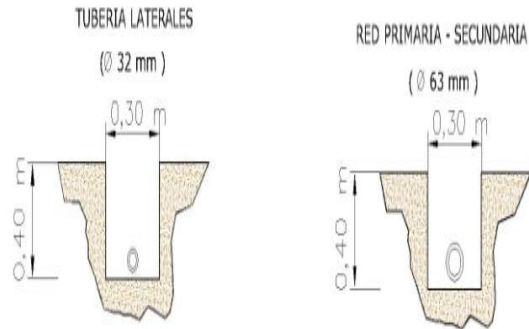
HIDRANTE DE RIEGO



Nro.	Contenido	Cantidad
01	Tubo PVC E/C 63mmx1MPa	3.00
02	Codo PVC 63mm E/C x 90°	04
03	Adaptador PVC H de 63mm a 2"	04
04	Válvula Angular RM 2"	01
05	Collarín de 63mm x 3/4".	01
06	Válvula de doble acción de 3/4"	01
07	Filtro de anillas de 2" rosca macho (120 mesh, 20m ³ /h)	01

Visualización del Diseño

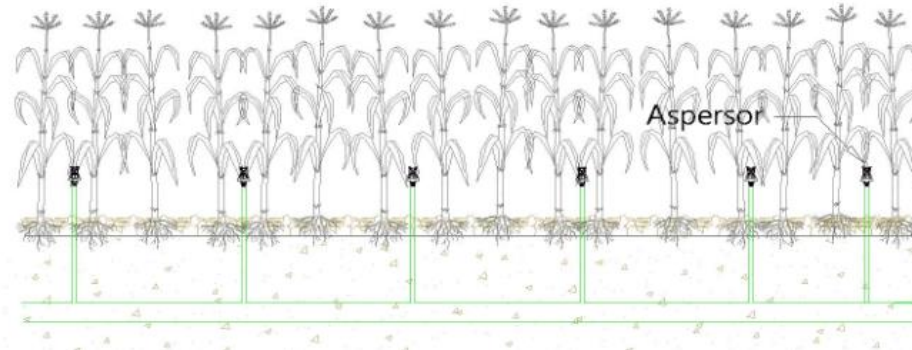
EXCAVACIÓN MANUAL



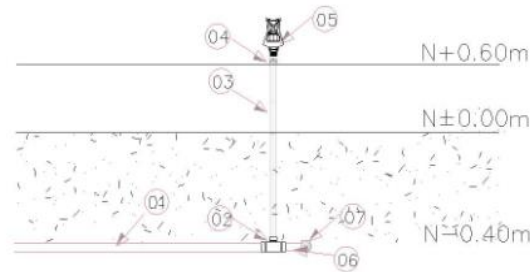
PUNTO DE RIEGO



Nro.	Contenido	Cantidad
01	Tuberfa PVC E/C 32mmx1.25MPa	--
02	Tee PVC de 32 X 3/4" mm	01
03	Tuberfa roscable PVC 3/4"	1.00
04	Union Roscable de 3/4"	01
05	Aspersor Xcel Wobbler 3/4" RM 15-25 PSI Q:1.1 GPM Boq. # 8	01

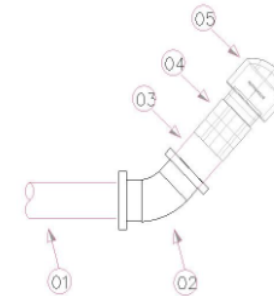


FINAL DE LATERAL DE RIEGO



Nro.	Contenido	Cantidad
01	Tuberfa PVC E/C 32mmx1.25MPa	--
02	Tee 32 mm Ø	01
03	Tuberfa roscable PVC 3/4"	1.00
04	Union Roscable de 3/4"	01
05	Aspersor Xcel Wobbler 3/4" RM 15-25 PSI Q:1.1 GPM Boq. # 8	01
06	Tub. E/C 32 mm Ø; long 0.2m	01
07	Tapón 32 mm Ø PVC INY H EC PG	01

TAPÓN DE DESAGUE DE 32 mm



Nro.	Contenido	Cantidad
01	Tubo PVC E/C 32 mmx1.32MPa	--
02	Codo PVC de 32 mm x 45°	01
03	Tubo PVC E/C 32mmx0.63 MPa	1.00
04	Adaptador PVC M de 32 mm x 2"	01
05	Tapón H roscable de 1"	01