



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales

Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea var. italica*) en barrio La Victoria, parroquia Sucre, cantón y provincia de Loja

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de ingeniero agrícola

AUTOR:

Angel Delicio Guaiñas Gualán

DIRECTOR:

Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado. Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 31 de marzo de 2022

Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado. Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) en barrio La Victoria, parroquia Sucre, cantón y provincia de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de autoría del estudiante **Angel Delicio Guillas Gualán**, con **cédula de identidad Nro.1106004128**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:

**MANUEL ROMEL
RAMON HURTADO**

.....
Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

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



Firmado electrónicamente por:

ANGEL DELICIO
GUAILLAS
GUALAN

Firma: _____

Cédula de identidad: 1106004128

Fecha: 11/01/2023

Correo electrónico: angel.guailas@unl.edu.ec

Teléfono: 0990860362

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

Yo, Angel Delicio Guailas Gualán, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) en barrio La Victoria, parroquia Sucre, cantón y provincia de Loja**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

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



Firmado electrónicamente por:

ANGEL DELICIO
GUAILLAS
GUALAN

Firma: _____

Autor: Angel Delicio Guailas Gualán

Cédula: 1106004128

Dirección: Av. 8 de diciembre y Chuquiribamba (Sauces norte)

Correo electrónico: angel.guailas@unl.edu.ec

Teléfono: 0990860362

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del trabajo de titulación: Ing. Romel Ramón Hurtado. Mg. Sc.

Dedicatoria

El sacrificio, constancia y perseverancia entregada en la realización de una de mis más grandes metas, es la obtención del título de Ingeniero Agrícola, finalmente se ha hecho realidad y se lo debo a quienes de una u otra manera estuvieron a mi lado en este transepto y se lo dedico de manera muy especial a:

Dios, el creador todopoderoso, por estar siempre en mí y por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida.

A mis Padres: Angel Guailas y Delia Gualán, quienes, con sus consejos, buenos sentimientos y valores han logrado guiarme para culminar mi carrera profesional, gracias a ustedes soy lo que soy. A mis hermanos por estar siempre a mi lado, y brindarme su apoyo incondicional, amor y paciencia.

Angel Delicio Guailas Gualán.

Agradecimiento

Agradezco a Dios porque ha permitido que la presente tesis se haga realidad, ha estado conmigo en cada momento de mi vida, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, porque su amor y su bondad no tiene fin.

A mis padres y mis hermanos, que siempre me fortalecieron en momentos difíciles, quienes han sido mi apoyo y motivación en mi formación académica, a ellos que depositaron su entera confianza en cada reto que se me presentaba, porque, sin ellos nada sería igual.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería Agrícola, a la Planta Docente y Administrativa, por haberme abierto las puertas de tan prestigiosa vocación y brindarme sus conocimientos y experiencias en esta formación ética, moral y profesional.

De igual manera estoy agradecido con el Ing. Romel Ramón, director de la presente Investigación, por brindarme sus conocimientos invaluable, su confianza y la posibilidad de realizar este trabajo, por su experiencia brindada e infinita paciencia, alentándome para lograr ser un gran Ingeniero Agrícola.

Angel Delicio Guayllas Gualán.

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Índice de contenido	vii
Índice de figuras	xii
Índice de tablas	xiii
Índice de anexos	xv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Revisión de Literatura	6
4.1. Cultivo de Brócoli	6
4.1.1. Requerimientos Climáticos	6
4.1.2. Agua	7
4.1.3. Suelo	7
4.1.4. Fases Fenológicas del Cultivo	7
4.2. Definición de Riego	8
4.2.1. Riego por Aspersión	8
4.2.2. Tipos de Riego por Aspersión	10
4.2.3. Partes de un Sistema de Riego por Aspersión	11
4.2.4. Datos e Incógnitas para el Diseño de Riego por Aspersión	12
4.3. Clasificación de Suelos Según su Capacidad de Uso	12

4.3.1. Tierras Aptas para Cultivos Intensivos y Otros Fines _____	12
4.3.2. Tierras Aptas para Cultivos Permanentes y Uso Forestal _____	13
4.3.3. Tierras Adecuadas Generalmente para el Aprovechamiento Forestal _____	14
4.3.4. Tierras no Aptas para Fines Agropecuarios ni Explotación Forestal _____	14
4.4. Propiedades Físicas del Suelo _____	14
4.4.1. Estructura del Suelo _____	14
4.4.2. Textura del Suelo _____	15
4.4.3. Profundidad del Suelo _____	15
4.4.4. Densidad del Suelo _____	15
4.5. Parámetros Hídricos del Suelo _____	16
4.5.1. Capacidad de Campo _____	16
4.5.2. Punto de Marchitez Permanente _____	16
4.5.3. Capacidad de Agua Aprovechable _____	16
4.6. Velocidad de Infiltración _____	16
4.7. Necesidades de Agua de los Cultivos _____	17
4.7.1. Evapotranspiración de Referencia (ET _o) _____	17
4.7.2. Coeficiente de Cultivo (K _c) _____	17
4.7.3. Evapotranspiración del Cultivo (ET _c) _____	18
4.8. Diseño Agronómico _____	18
4.8.1. Lámina de Agua Disponible _____	18
4.8.2. Lámina de Agua Rápidamente Aprovechable _____	19
4.8.3. Frecuencia de Riego _____	19
4.8.4. Frecuencia de Riego Ajustada _____	19
4.8.5. Lámina Bruta o Lámina Total de Riego _____	19
4.8.6. Selección del Aspersionador _____	20
4.8.7. Marco de Riego _____	20
4.8.8. Precipitación Horaria _____	20
4.8.9. Tiempo de Riego _____	21

4.9. Diseño Hidráulico _____	21
4.9.1. Diseño de la Red de Tuberías de Distribución _____	21
4.9.1.1. Pérdidas de Carga por Fricción. _____	21
4.9.1.2. Pérdidas de Carga por Salidas Múltiples. _____	22
4.9.1.3. Condiciones que se debe Cumplir para el Dimensionamiento de un Lateral. _____	24
4.9.1.4. Pérdidas de Cargas Locales. _____	25
4.9.1.5. Carga Dinámica Total. _____	26
4.9.2. Motobombas de Agua _____	26
4.9.2.1. Altura de Elevación. _____	26
4.9.2.2. Tipos de Motobombas de Agua. _____	28
4.9.2.3. Características de Funcionamiento de las Motobombas Centrífugas. _____	30
4.9.2.4. Potencia del Motor de la Bomba. _____	30
5. Materiales y Métodos _____	32
5.1. Localización del Área de Estudio _____	32
5.2. Materiales y Equipos _____	34
5.3. Metodología para el Primer Objetivo _____	34
5.3.1. Análisis de las Propiedades Físicas del Suelo _____	34
5.3.2. Determinación de Propiedades Hidrofísicas del Suelo del predio “Lote Bonito” _____	36
5.3.3. Velocidad de infiltración _____	38
5.4. Metodología para el Segundo Objetivo _____	39
5.4.1. Recolección de Información _____	39
5.4.2. Elaboración de Diagrama Ombrotérmico _____	40
5.4.3. Determinación de la Evapotranspiración de Referencia (ET _o) _____	40
5.4.4. Determinación del Coeficiente de Cultivo (K _c) _____	40
5.4.5. Determinación de la Evapotranspiración del Cultivo (ET _c) _____	41
5.5. Metodología para el Tercer Objetivo _____	42

5.5.1. Diseño Agronómico _____	42
5.5.1.1. Parámetros de Riego de los Cultivos. _____	42
5.5.2. Diseño Hidráulico _____	51
5.5.2.1. Diseño del Lateral _____	51
5.5.2.2. Diseño de Tubería Principal y Secundaria _____	54
5.5.2.3. Carga Dinámica Total. _____	56
5.5.2.4. Selección de la Motobomba. _____	56
5.5.3. Lista de Materiales _____	58
6. Resultados _____	59
6.1. Resultados para el Primer Objetivo _____	59
6.1.1. Propiedades Físicas del Suelo _____	59
6.1.2. Propiedades Hidrofísicas del Suelo _____	60
6.1.3. Velocidad de Infiltración Básica _____	60
6.2. Resultados para el Segundo Objetivo _____	61
6.2.1. Diagrama Ombrotérmico _____	61
6.2.2. Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET _o), por el Método de Penman-Monteith Utilizando el Programa CROPWAT _____	63
6.2.3. Coeficiente de Cultivo (K _c) _____	64
6.2.4. Evapotranspiración del Cultivo de Brócoli (ET _c), en sus Diferentes Fases Fenológicas _____	64
6.3. Resultados del Tercer Objetivo _____	65
6.3.1. Diseño Agronómico _____	65
6.3.2. Diseño Hidráulico _____	72
6.3.2.1. Diseño del Lateral _____	72
6.3.2.2. Diseño de la Tubería Principal _____	74
6.3.2.3. Diseño de la Tubería Secundaria _____	74
6.3.2.4. Carga Dinámica Total (CDT). _____	76
6.3.2.5. Selección de la Motobomba. _____	76

6.3.3. Lista de Materiales y presupuesto estimado de instalación _____	78
7. <i>Discusión</i> _____	82
8. <i>Conclusiones</i> _____	85
9. <i>Recomendaciones</i> _____	86
10. <i>Bibliografía</i> _____	87
11. <i>Anexos</i> _____	94

Índice de figuras

<i>Figura 1. Elementos de una motobomba centrífuga</i> _____	29
<i>Figura 2. Ubicación del predio Lote bonito</i> _____	33
<i>Figura 3. Porcentajes de las fracciones del suelo</i> _____	59
<i>Figura 4. Diagrama ombrotérmico utilizando valores de temperatura media y precipitación de la estación meteorológica La Argelia</i> _____	62

Índice de tablas

Tabla 1. Coeficiente de Hazen-Williams para varios materiales _____	22
Tabla 2. Coeficiente K para pérdidas de carga por accesorios _____	26
Tabla 3. Densidad aparente a 30 cm de profundidad de suelo _____	60
Tabla 4. Constantes hidrofísicas del suelo determinados a 30 cm de profundidad de suelo _____	60
Tabla 5. Evapotranspiración de referencia (ET_0) mediante el método de Penman-Monteith _____	63
Tabla 6. Valores promediados de la evapotranspiración de referencia, para el cultivo de brócoli, a través del método de Penman-Monteith _____	64
Tabla 7. Coeficiente de cultivo (K_c) para el brócoli, durante cada fase de cultivo _____	64
Tabla 8. Evapotranspiración del cultivo de brócoli _____	65
Tabla 9. Parámetros de riego para el cultivo de brócoli _____	66
Tabla 10. Pérdidas de carga en laterales del área 1 _____	72
Tabla 11. Pérdidas de carga en laterales del área 2 _____	73
Tabla 12. Perdidas de carga en la tubería principal del área 1 _____	74
Tabla 13. perdidas de carga en la tubería principal del área 2 _____	74
Tabla 14. Perdidas de carga en la tubería secundaria del área 1 _____	75
Tabla 15. Pérdidas de carga en la tubería principal del área 2 _____	75
Tabla 16. Carga dinámica total para el área 1 y 2 _____	76
Tabla 17. Perdidas de carga por aspiración e impulsión, utilizando el método de Hazen-Williams _____	77
Tabla 18. Materiales y accesorios requeridos para instalar los laterales del área 1 _____	78
Tabla 19. Materiales y accesorios requeridos para instalar los laterales del área 2 _____	79

Tabla 20. *Materiales y accesorios requeridos para instalar la tubería principal y secundaria del área 1 y 2* _____ 79

Tabla 21. *Materiales y equipos de bombeo* _____ 80

Índice de anexos

<i>Anexo 1. Toma de muestras no disturbadas</i>	94
<i>Anexo 2. Triangulo textura del USDA para determinar el tipo de suelo</i>	96
<i>Anexo 3. Velocidad de infiltración del suelo</i>	96
<i>Anexo 4. Resultados de prueba de infiltración básica</i>	98
<i>Anexo 5. Levantamiento topográfico</i>	99
<i>Anexo 6. Criterios de clasificación climática</i>	100
<i>Anexo 7. Datos meteorológicos de la estación "La Argelia"</i>	100
<i>Anexo 8. Coeficiente único del cultivo Kc propuesto por la FAO</i>	101
<i>Anexo 9. Kc del cultivo determinado por constantes gráficas</i>	101
<i>Anexo 10. Especificaciones del aspersor</i>	102
<i>Anexo 11. Mapa de la red de tuberías y emisores</i>	104
<i>Anexo 12. Mapa de traslape del diámetro húmedo</i>	105
<i>Anexo 13. Coeficiente de reducción de Christiansen para varias salidas</i>	106
<i>Anexo 14. Diagrama de instalación de un lateral</i>	106
<i>Anexo 15. Diagrama de instalación de un emisor</i>	107
<i>Anexo 16. Diagrama de instalación de un cabezal de control</i>	107
<i>Anexo 17. Perfil de la línea de conducción</i>	109
<i>Anexo 18. Diagrama de ubicación de la fuente de agua y reservorio para determinar la altura geométrica total</i>	110
<i>Anexo 19. Características técnicas de la motobomba</i>	111
<i>Anexo 20. Diagrama para determinar el tipo de motobomba</i>	113
<i>Anexo 21. Diagrama de instalación de la motobomba</i>	114
<i>Anexo 22. Certificado de traducción</i>	115

1. Título

Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) en barrio La Victoria, parroquia Sucre, cantón y provincia de Loja

2. Resumen

El proyecto de tesis titulado: “Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) en barrio La Victoria, parroquia Sucre, cantón y provincia de Loja”, se realizó con el objetivo de contribuir al manejo sostenible del agua de riego en el predio lote bonito, en vista que, los moradores del lugar tienen como su principal fuente de ingresos el cultivo de hortalizas, lo que fue una necesidad de realizar la presente investigación. La superficie del proyecto es de 0,64 ha, donde se realizó un estudio del perfil del suelo a 1 m de profundidad, donde presenta una textura franca, con CC de 28,6 % de humedad, PMP de 14,8 % de humedad. La zona de estudio tiene una precipitación efectiva de 15,3 mm/mes, donde se implementará un riego complementario por aspersión, para satisfacer el requerimiento hídrico del cultivo de brócoli de 3,55 mm/día. En el área 1 del predio se utilizará un aspersor que arroja 1 397 l/h, con 10 m de separación entre aspersores y 18 m entre laterales, en el área 2 el aspersor arroja 728 l/h, con 10 m de separación entre aspersores y laterales. En el diseño hidráulico la carga dinámica total fue de 41,09 m y 20,07 m para el área 1 y 2 respectivamente, y la potencia de la motobomba requerida para elevar el agua hasta al reservorio es de 4 HP, garantizando de esta manera el correcto funcionamiento del sistema de riego y la dotación necesaria de agua a los cultivos.

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

2.1. Abstract

The thesis project entitled: "Design of a sprinkler irrigation system for the cultivation of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) in the La Victoria neighborhood, Sucre parish, canton and province of Loja", was carried out with the objective of contributing to the sustainable management of irrigation water in the lote bonito property, given that the inhabitants of the place have the cultivation of vegetables as their main source of income, which was a necessity to carry out the present investigation. The surface of the project is 0.64 ha, where a study of the soil profile was carried out at a depth of 1 m, where it presents a loamy texture, with CC of 28.6 % humidity, PMP of 14.8 % humidity. The study area has an effective rainfall of 15.3 mm/month, where complementary sprinkler irrigation will be implemented to satisfy the broccoli crop's water requirement of 3.55 mm/day. In area 1 of the property, a sprinkler will be used that produces 1,397 l/h, with a 10 m separation between sprinklers and 18 m between sides. In area 2, the sprinkler produces 728 l/h, with a 10 m separation between sprinklers. and sides. In the hydraulic design, the total dynamic head was 41.09 m and 20.07 m for area 1 and 2 respectively, and the power of the motor pump required to raise the water to the reservoir is 4 HP, thus guaranteeing the proper functioning of the irrigation system and the necessary supply of water to the crops.

Keywords: sprinkler irrigation, agronomic design, hydraulic design.

3. Introducción

La planificación del riego es un recurso importante para el uso del agua en la agricultura, con el objetivo de optimizar el agua en el riego, aplicando la cantidad correcta en el momento requerido por la planta, ayudando de esta manera al uso eficiente del agua (Suero et al., 2008). A nivel mundial, el 70 % del agua dulce es utilizada para la agricultura de regadío, de ella, el 94 % es utilizado en el riego por superficie (inundación, surcos, melgas, etc.) y el 6 % en riego a presión (aspersión, microaspersión y goteo) (Arroyo, 2017). El riego a presión se encuentre por debajo de los métodos superficiales presumiblemente por el elevado costo inicial, la escasa tecnificación de riego y/o falta de conocimientos.

Ecuador cuenta con una superficie bajo riego de entre 1,1 y 1,5 millones de ha, que corresponde alrededor del 20 % de la superficie productiva agrícola del Ecuador (CAMAREN, 2017). Existiendo 763 900 ha con riego por superficie, 370 100 ha con riego por aspersión y 59 400 ha con riego localizado (Martínez, 2015).

En el cantón Loja, el 69,5 % del suelo no son aptos para riego y el 30,5 % son suelos aptos para riego, de este el 6,57 % cuentan con riego (PDOT, 2014). Los sectores que cuentan con agua de riego son los que se encuentran cerca de la cabecera cantonal, abarca una superficie de 12 435,34 ha, que benefician a 19 562 usuarios, aportando de esta manera a la seguridad y soberanía alimentaria dentro del cantón (INEC, 2010).

El riego tecnificado contribuye el desarrollo agrícola, porque permite el aprovechamiento óptimo del agua en los cultivos, logrando una mayor productividad y ahorro del agua, donde esta es escasa (Gavidia, 2015).

En el barrio La Victoria de la Parroquia Sucre, practican una agricultura familiar, donde el cultivo de hortalizas es su principal actividad, destacando el cultivo de brócoli para la venta o incluida para autoconsumo, mejorando la dieta

por sus propiedades alimenticias; la mayoría de los agricultores del barrio carecen de riego y los pocos que tienen riegan de forma tradicional, utilizando el agua proveniente de un afluente que baja del cerro Villonaco, pero también desconocen de técnicas de riego y les limita tener una mayor eficiencia y uso del agua, situación que dificulta ampliar el área de riego.

Con estas consideraciones, se ha planteado una solución que busca mejorar las condiciones de vida y producción de los agricultores de la comunidad, con el proyecto titulado “Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) en barrio La Victoria, parroquia Sucre, cantón y provincia de Loja”, con el fin de optimizar el caudal de agua con el que se cuenta y así, satisfacer la demanda hídrica en los meses de mayor estiaje.

Para ello, se ha planteado los siguientes objetivos:

Objetivo general

Contribuir al manejo sostenido del agua para riego en los predios dedicados a la agricultura familiar campesina en el sector La Victoria, parroquia Sucre cantón y provincia de Loja.

Objetivos específicos

- * Determinar las propiedades hidrofísicas del suelo en el predio “Lote Bonito” para diseñar el sistema de riego por aspersión.
- * Calcular las necesidades de riego en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de brócoli para las condiciones agroecológicas de la zona de estudio.
- * Diseñar un sistema de riego por aspersión en el componente agronómico e hidráulico para el cultivo de brócoli en el predio Lote Bonito

4. Revisión de Literatura

4.1. Cultivo de Brócoli

El brócoli como comúnmente se lo conoce o con su nombre científico *Brassica oleracea* var. *itálica* es una planta herbácea dicotiledónea anual de la familia de las crucíferas, es de tallo corto y grueso, posee un tejido medular que experimenta un fuerte crecimiento primario en grosor (Bolea, 1982).

El brócoli tiene entre 15 a 30 hojas grandes, cada una de aproximadamente 50 centímetros de longitud y 30 centímetros de ancho, las hojas presenta una cutícula cerosa desarrollada e impermeable, con colores que van desde verde azulado a verde, el fruto es una silicua con más de 10 semillas, redondas y pequeñas de aproximadamente 2 milímetros de diámetro y son de color marrón oscuro a rojizo, mientras que el sistema radicular de esta planta es pivotante y leñoso, donde la raíz principal puede alcanzar hasta 60 cm en el suelo y generalmente se pierde en el trasplante (Toledo, 1995).

4.1.1. Requerimientos Climáticos

Como lo menciona Revelo (2012), el brócoli es un híbrido muy sensible al ambiente en el cual se cultiva; las características climáticas del lugar juegan un papel preponderante en el cultivo.

* **Temperatura**

El brócoli se produce mejor en climas fríos y húmedos, ya que en regiones calientes se forma una cabeza pequeña de cuyos centros salen hojas. Con temperaturas muy bajas o con mucha humedad no se forma bien la cabeza o se presentan tallos huecos. El brócoli es un cultivo de invierno o de estación fría; su rango óptimo de temperatura para su crecimiento y desarrollo va de 15 a 18 °C. El límite inferior para un adecuado crecimiento es 5°C y su límite superior 24°C.

4.1.2. Agua

Requieren de una disponibilidad permanente de agua para poder así obtener rendimientos óptimos, la presencia de elementos tóxicos en el agua de riego provoca una notable baja tanto de calidad como de rendimiento. Este cultivo tiene un mejor desarrollo en un ambiente con altos niveles de humedad relativa (Fierro, 2013).

4.1.3. Suelo

Es necesario que el suelo sea fértil con textura media, profundos y con buen drenaje, además, de considerar el pH ya que estos favorecen a su producción, el suelo debe tener la capacidad de retener el agua y un buen nivel de materia orgánica (Revelo, 2012).

Zamora (2016), menciona que el cultivo de brócoli se siembra en gran diversidad de suelos, dando mejores resultados en suelos francos, profundos y buen contenido de materia orgánica, además es ligeramente tolerante a suelos ácidos (6 a 6.8 de pH).

4.1.4. Fases Fenológicas del Cultivo

Para Gómez (2012), el brócoli se puede dividir en diferentes fases fenológicas dependiendo de la variedad, el tipo de clima y del lugar de cultivo:

*** De crecimiento**

La etapa de crecimiento dura entre 12 a 35 días, en donde la planta solamente desarrolla hojas y tallos, las hojas son grandes y con gran cantidad de agua, los tallos son gruesos y fuertes, con alto contenido de humedad.

*** De inducción floral**

Tiene una duración alrededor de 40 días, durante esta etapa se inicia la formación de la pella en el centro de la planta; tiene que pasar por un periodo de

frío para poder iniciar con este proceso. Durante esta etapa la planta absorbe la mayor cantidad de agua para seguir emitiendo hojas, solo que de un tamaño muy pequeño.

* **De formación de pellas**

Esta etapa es la más importante, aquí es donde se obtendrá la cosecha de cabezas o inflorescencias, antes de que estas comiencen la apertura de flores (aproximadamente a 85 días después del trasplante). En muchas ocasiones, dependiendo de la variedad, se forman pellas de menor tamaño en muchas yemas axilares de la parte inferior a la flor principal, las cuales no son comerciales.

* **De floración**

Después de los 120 días los tallos que sostienen las flores, comienzan a crecer y las flores inician su apertura, además la planta deja de producir nutrientes para su crecimiento y comienza absorber la mayor cantidad de fosforo y calcio para su desarrollo floral.

4.2. Definición de Riego

El riego consiste en la actividad de suministrar agua a la superficie del suelo, para que sea aprovechada por los cultivos y satisfacer la demanda hídrica cuando esta no puede ser satisfecha de forma natural a través de la precipitación (Tarjuelo, 2005).

4.2.1. Riego por Aspersión

El riego por aspersión es un método de riego presurizado que consiste en aplicar el agua en forma de lluvia, este método de riego hace que los aspersores insertados en las tuberías trabajen con una determinada presión, según las características de cada fabricante para cada tipo de aspersor (Sánchez, 2005).

El objetivo del riego por aspersión es de producir una lluvia efectiva sobre toda la parcela y con una intensidad tal, que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae (Tarjuelo, 2005). Cuando el diseño del sistema de riego es adecuado, el agua puede ser aplicada con buena uniformidad y con pluviometría compatible con la tasa de infiltración del suelo, siendo posible controlar la escorrentía y evitar daños al suelo y a los cultivos (Pereira et al., 2010).

Según Tarjuelo (2005), el riego por aspersión presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- * No necesita nivelación o sistematización, es decir que supera los problemas de topografía.
- * Muy adaptable a rotaciones de cultivos.
- * Se adapta a caudales pequeños pero continuos, a suelos de textura ligera con elevada infiltración y baja capacidad de retención, aplicación en riegos pequeños y frecuentes, incluso para germinadores.
- * Permite la automatización.
- * Se adapta mejor a cultivo de alta densidad como forrajes, cereales, y para cultivos hortícolas como zanahoria.

Desventajas

- * Por exceso de viento puede haber una mala uniformidad en su aplicación.
- * Mayor inversión y costos en tuberías principales y secundarias.
- * Altas inversiones para su implementación, principalmente cuando se requiere hacer funcionar emisores de alta presión.
- * Moja toda la superficie del suelo, lo que estimula el crecimiento de malezas, y además produce encharcamiento dificultado demás labores culturales.

- * Existe inconveniente de infiltración cuando es aplicado a campos con suelos arcillosos.

4.2.2. Tipos de Riego por Aspersión

Pereira et al. (2010), menciona los siguientes tipos de riego, de acuerdo a su infraestructura:

a) Estacionarios

Los aspersores permanecen en una posición fija mientras dura la aplicación del agua, se incluyen los que se desplazan de una posición de riego a otra, ya sea a mano, por tubería flexible o de forma mecanizada, como es el caso de las tuberías con ruedas, que se denominan sistemas de desplazamiento discontinuo y también involucran las instalaciones fijas, de cobertura total.

Según Tarjuelo (2005), estos se clasifican en:

- * **Semifijos:** Suelen tener fija la red de tubería principal, que normalmente va enterrada y las tomas o hidrantes, dónde se conectan los ramales de riego, son móviles. Estos ramales de riego pueden llevar directamente acoplados los aspersores o ir dotados de mangueras, que desplazan los aspersores sobre “patines” a una determinada distancia del lateral, desplazándose únicamente los tubos porta aspersores y los aspersores.
- * **Fijos:** Se puede subdividir en fijos permanentes que mantienen todos sus elementos fijos durante la vida útil, lo que implica que todas las tuberías estén enterradas, mientras que los fijos temporales hay que montarlos al principio de la campaña de riego y retirarlos al final de la misma.

b) Móviles o desplazamiento continuo

Los aspersores funcionan mientras se mueven, de forma independiente o junto con las tuberías donde van montados, siguiendo una trayectoria lineal o

circular. Los principales sistemas móviles, con desplazamiento continuo, son los pivotes centrales, laterales de avance frontal y los cañones tirados por una tubería con enrollador o tirados por cable.

De acuerdo a EcuRed (2015), los sistemas de riego móviles son:

- * **Desplazamiento radial o pivote central:** Consiste en una tubería montada sobre ruedas, la cual gira en un desplazamiento radial con centro en un punto fijo, que recibe el agua por un tubo soterrado o una motobomba.
- * **Desplazamiento frontal:** Consiste en un tubo aspersor, conocido como lateral que se desplaza de forma transversal a los surcos. Se aplica en áreas de forma rectangular y la toma de agua es de un canal paralelo al campo.
- * **Cañón aspersor con su mecanismo enrollador:** Constituido generalmente por un equipo que lleva una tubería que puede enrollarse y desenrollarse y que cuenta además con un aspersor gigante final.

4.2.3. Partes de un Sistema de Riego por Aspersión

Pereira et al. (2010), menciona que los sistemas de riego por aspersión tienen los siguientes componentes básicos:

- * **Fuente de abastecimiento:** La fuente de agua de un sistema puede ser superficial o subterránea. Entre las fuentes de agua superficial se tiene: ríos, quebradas, lagunas, canales, y reservorios, por lo general se utiliza motobombas para aprovechar el agua, y su capacidad está en función de la altura dinámica total (HDT).
- * **Tubería:** Conduce el agua desde la motobomba a las tuberías principal, y de éstas a los ramales. En la mayoría de los casos la tubería principal es fija, en otros casos es desplazable pudiendo ser transportada de parcela en parcela.

- * **Ramales:** También se los denomina laterales, son las tuberías donde se montan los aspersores, pueden ser fijos, o móviles.
- * **Aspersores:** Son dispositivos que aplican el agua sobre el suelo y a los cultivos en forma de gotas pequeñas, imitando la lluvia y constituyen los elementos principales en el diseño de los sistemas de riego y en la calidad de su funcionamiento.

4.2.4. Datos e Incógnitas para el Diseño de Riego por Aspersión

Cisneros (2003), menciona que los datos principales deben ser: la localización de la fuente de abastecimiento, plano topográfico, determinación de las diferentes unidades de riego, cultivos a abastecer, climatología, división en bloque de riego, infiltración básica, evapotranspiración, textura del suelo y entre las incógnitas más importantes a despejar están; el caudal de la fuente, el tipo de aspersor (en función de la textura e infiltración básica), caudal en los aspersores, separación entre los aspersores y laterales, número de aspersores que operan simultáneamente, caudal total por cada bloque y por cada línea regante, diseño de la tubería principal y laterales, pérdidas de carga y selección de la motobomba.

4.3. Clasificación de Suelos Según su Capacidad de Uso

Según Choque (2011), las clasificaciones del suelo según su capacidad de uso son:

4.3.1. Tierras Aptas para Cultivos Intensivos y Otros Fines

Clase I: Son suelos con pocas limitaciones para su uso, para un amplio margen de cultivos, como pastos, bosques, vida silvestre y conservacionista. Presenta terrenos casi planos, con muy poco peligro de erosión, suelos profundos, con buen drenaje interno y externo, sencillos de trabajar, retienen muy bien el agua, presenta un buen contenido nutricional y responde perfectamente a los fertilizantes.

Clase II: Terrenos adecuados para cultivos, tienen algunas limitaciones que reducen la elección de plantas o requieren moderadas prácticas de conservación. Presentan fertilidad natural media y buena capacidad productiva mientras se les abastezca de forma continua tratamientos agrícolas apropiados.

Clase III: Terrenos con limitaciones severas que reducen la selección de cultivos o requieren prácticas especiales de conservación. Entre las principales limitaciones están: pendientes moderadamente fuertes, poca permeabilidad del agua, baja capacidad de retención de humedad y baja fertilidad.

Clase IV: Terrenos marginales con limitaciones muy severas que restringen la elección de cultivos. Cuando estas tierras son cultivadas se requieren cuidadosas prácticas de manejo y de conservación, para alcanzar producciones aceptables en los cultivos. Entre las limitaciones se encuentran: pendientes muy fuertes, elevada susceptibilidad a la erosión y suelos pocos profundos.

4.3.2. *Tierras Aptas para Cultivos Permanentes y Uso Forestal*

Clase V: Terrenos adecuados para ganadería, sin problemas de erosión o muy bajo. Sin embargo, tienen otras limitaciones que no son fáciles de remover y que limitan su uso, son suelos solamente para cultivos permanentes, pastos, lotes de árboles o vida silvestre.

Clase VI: Estos suelos presentan limitaciones severas, generalmente inapropiados para llevar a cabo cultivos de carácter intensivo en condiciones normales. Las limitaciones de estos suelos básicamente son pendientes muy fuertes, alta susceptibilidad a la erosión o se encuentran muy erosionados, alta pedregosidad, excesiva humedad, suelos muy superficiales.

4.3.3. Tierras Adecuadas Generalmente para el Aprovechamiento Forestal

Clase VII: Terrenos adecuados para ganadería o forestación, tienen limitaciones muy severas que las hacen inadecuadas para cultivos y restringen su uso fundamentalmente al pastoreo, plantación forestal o vida silvestre. Estos suelos se encuentran afectados por pendientes muy pronunciadas, presencia de grava, fertilidad natural baja, muchas veces rocosidad superficial, erosión hídrica potencial, drenaje defectuoso y régimen pluvial pronunciados.

4.3.4. Tierras no Aptas para Fines Agropecuarios ni Explotación Forestal

Clase VIII: Las tierras de esta clase poseen tantas limitaciones que solo se recomienda para uso conservacionistas, vida silvestre, recreación y preservación de cuencas (protección), presentan topografía muy accidentada, escorrentía muy veloz y son bastante susceptibles a la erosión pluvial.

4.4. Propiedades Físicas del Suelo

El suelo es un recurso natural no renovable compuesto por sustancias sólidas (materia orgánica, organismos y minerales), agua y aire. La proporción en la que se encuentren estos componentes le confiere al suelo propiedades físicas, químicas y biológicas propias. La productividad de un suelo no sólo depende de los contenidos nutrimentales sino también de las características físicas del mismo, ya que el desarrollo de la parte aérea dependerá del desarrollo de la raíz (Intagri, 2015).

4.4.1. Estructura del Suelo

Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y unidades de mayor tamaño. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión (FAO, 2019).

4.4.2. Textura del Suelo

La textura se refiere al porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo (arena, arcilla y limo), influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (Rucks et al., 2004).

4.4.3. Profundidad del Suelo

La profundidad efectiva del suelo, es una característica física importante, ya que determina el volumen del agua que puede almacenar el suelo, además, las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayores obstáculos, con el objetivo de conseguir el agua y los nutrimentos indispensables para su crecimiento. La mayoría puede profundizar sus raíces más de un metro, si las condiciones del suelo lo permiten (García, 2017).

4.4.4. Densidad del Suelo

El término densidad refleja la cantidad de masa que ocupa un volumen determinado, expresado en g/cm^3 . Una densidad aparente alta indica un suelo compacto elevado de partículas granulares como la arena, una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas, son suelos arcillosos siempre que no se encuentra compactado (Ojeda et al., 2018).

Existen dos tipos de densidad, real y aparente: la densidad real de las partículas del suelo varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de $2,65 \text{ g/cm}^3$ y la densidad aparente indica el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, incluyendo el espacio poroso (FAO, 2019).

4.5. Parámetros Hídricos del Suelo

De acuerdo con Shaxson y Barber (2005), los parámetros hídricos son:

4.5.1. Capacidad de Campo

Se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. El drenaje ocurre por la transmisión del agua a través de los poros mayores de 0,05 mm de diámetro; sin embargo, la capacidad de campo puede corresponder a poros que varían entre 0,03 y 1 mm de diámetro. El suelo a capacidad de campo se siente muy húmedo en contacto con las manos.

4.5.2. Punto de Marchitez Permanente

Se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua.

4.5.3. Capacidad de Agua Aprovechable

Es la cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas y se encuentra entre la Capacidad de Campo y el Punto Permanente de Marchitez.

4.6. Velocidad de Infiltración

La tasa o velocidad de infiltración es la velocidad con la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie. Normalmente se expresa en mm/h y su valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo saturado. El tiempo que transcurra hasta alcanzarse las condiciones finales de saturación dependerá de la humedad previa, la textura y la estructura del suelo, el espesor del horizonte por el que discurre el agua y la altura del agua en el anillo interior (Shaxson & Barber, 2005).

4.7. Necesidades de Agua de los Cultivos

Es la cantidad de agua requerida por las plantas para reponer el consumo producido por la evapotranspiración y el agua retenida en las plantas. Es importante conocer estas necesidades para diseñar los sistemas de captación, distribución, aplicación de agua y poder así planificar ¿cuánto se debe regar y en qué tiempo se debe hacer? (Villafáfila y Wyss, 2009).

4.7.1. Evapotranspiración de Referencia (ET_o)

Las necesidades de agua de riego de los cultivos se basan en la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) de cada lugar en particular, están sujetas a la limitación de información meteorológica existente. Este parámetro constituye la columna vertebral del diseño agronómico de todo sistema de riego, a través del cual se dimensionan redes de canales, redes de tuberías y reservorios, además, facilita la planificación de la operación de un sistema de riego (Santiago et al., 2012).

Con relación al manejo del agua de riego, una sobreestimación de ET_o en 1,0 mm, influirá en el incremento del volumen utilizado de agua en 10 m³/ha en cada riego, encareciendo los costos de producción y generando condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades fungosas, de tal manera que, para optimizar el uso del agua de riego se requiere estimar ET_o con precisión (Ortiz & Chile, 2020).

4.7.2. Coeficiente de Cultivo (K_c)

El coeficiente de cultivo K_c significa el efecto del cultivo sobre el proceso de transpiración de la planta, incorpora las características del cultivo y los efectos de la evaporación del suelo, que varía a lo largo de su ciclo en función de la tasa de crecimiento y de la variación de la cobertura del suelo. De este modo, el K_c permite

calcular la tasa de consumo de agua o evapotranspiración real de un cultivo en particular a partir de la evapotranspiración de referencia (Souza et al., 2011).

4.7.3. Evapotranspiración del Cultivo (ET_c)

El conocimiento de la evapotranspiración de los cultivos (ET_c) es esencial para un manejo eficiente del riego ajustando el volumen y la frecuencia del riego a los requerimientos de los cultivos (García & Puppo, 2015). La mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de ET_o. Por lo tanto, el valor de K_c varía principalmente en función de las características particulares del cultivo (FAO, 2006).

4.8. Diseño Agronómico

El diseño agronómico representa la primera fase de cualquier tipo de diseño de riego, consiste en calcular los parámetros necesarios para que el sistema de riego sea capaz de suministrar con eficiencia el agua a los cultivos en periodo de máximas necesidades, es decir, se calcula la cantidad de agua que necesita el cultivo para su desarrollo normal sin sufrir un déficit hídrico (Intagri, 2019).

4.8.1. Lámina de Agua Disponible

Después de una lluvia o riego, el suelo comenzará a drenar agua hasta alcanzar la capacidad de campo que representa la cantidad de agua que un suelo bien drenado retiene en contra de las fuerzas gravitatorias, llamada también lámina de agua disponible a la profundidad de mayor concentración de raíces (FAO, 2006).

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 (Burbano et al., 1999).

4.8.2. Lámina de Agua Rápidamente Aprovechable

Es la cantidad de agua consumida por la planta, entre dos riegos consecutivos, es decir, para aplicar el próximo riego no debe permitirse un agotamiento total del agua disponible en el suelo, sino cierto porcentaje (p) el cual depende de la tolerancia del cultivo al estrés de humedad y del criterio de riego o punto óptimo de riego (FAO, 2001).

4.8.3. Frecuencia de Riego

Cada cuántos días se debe regar, se encuentra en función de los requerimientos de agua del cultivo y de la cantidad de agua que retiene el suelo. Al conocer la frecuencia de riego, podrán programarse las distintas posturas o cambios del equipo y distribuir la superficie a regar por día (Delgado, 2012).

4.8.4. Frecuencia de Riego Ajustada

Se da cuando existe amplias frecuencias de riego, por lo que se necesita mayor cantidad de agua en aplicar la superficie a regar, y más cuando no se dispone de caudal suficiente para abastecer el caudal de diseño, debido a esto se reajusta la frecuencia de riego a un valor menor de días, para tener un uso eficiente de agua (Intagri, 2019).

4.8.5. Lámina Bruta o Lámina Total de Riego

La cantidad total de agua que se entrega por riego, debe considerar las pérdidas que se producen durante la aplicación del agua a la parcela; en riego gravitacional, las pérdidas son por percolación profunda y escurrimiento superficial (FAO, 2001). Por lo tanto, la lámina bruta se define como la lámina neta afectada por la eficiencia de riego (Delgado, 2012).

4.8.6. Selección del Aspensor

Un riego a presión permite ahorrar tiempo y aporta un riego concreto y eficaz, siendo una de las opciones más cómodas y productivas para regar, pero para que realmente sea provechoso es muy importante seleccionar el emisor adecuado.

La selección del aspensor se realiza en función la presión existente, para que el emisor pueda funcionar y del espaciamiento entre emisores y laterales, utilizando para ello los catálogos de comportamiento de diferentes marcas y modelos de aspersores (Peralta & Simpfendörfer, 2001).

4.8.7. Marco de Riego

Es la distancia que existe entre dos líneas continuas y entre dos aspersores continuos sobre una misma línea. Dado que la cantidad de agua aplicada al suelo disminuye a medida que se aleja del aspensor, es necesario compensar este déficit de pluviometría traslapando el círculo de mojadura con el de otros aspersores (Fernández et al., 2010).

Los marcos de riego más habituales son: marco cuadrado, en rectángulo y en triángulo o tresbolillo:

- * En marcos cuadrado y triangular (tresbolillo), la separación entre los aspersores y ramales de aspersión debe ser el 60 % del diámetro mojado.
- * En marcos rectangulares la separación entre laterales debe ser del 75 % del diámetro mojado y del 40 % entre emisores.

4.8.8. Precipitación Horaria

Expresa la intensidad pluviométrica del riego y se mide por la altura de la lámina de agua recibida en el terreno en un tiempo determinado, normalmente se expresa en mm/h. Como criterio de diseño, la pluviometría de un aspensor debería

ser igual o inferior a la velocidad de infiltración básica del suelo para evitar escurrimiento (Peralta & Simpfendörfer, 2001).

4.8.9. *Tiempo de Riego*

Es el tiempo necesario para aplicar la lámina de riego total, a fin de restituir el agua consumida por el cultivo y los factores ambientales en dicho período (Chow, 2006).

4.9. Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico corresponde al cálculo de los diámetros de las tuberías laterales, subprincipales, principales y de conducción, además de las presiones requeridas y la selección de la clase de tuberías, para el diseño se debe considerar al menos dos criterios básicos: que las secciones operen con una uniformidad de emisión mayor a 90 %, y que la velocidad en las tuberías de la red parcelaria no sea mayor de 2,0 m/s, partiendo desde las necesidades de riego obtenidos en el diseño agronómico (Jiménez, 2017a).

4.9.1. *Diseño de la Red de Tuberías de Distribución*

Estos cálculos se basan en la ecuación de continuidad para un fluido que pasa por una tubería, en donde el líquido no tiene que exceder la velocidad media para una tubería de PVC, el cual se considera en 1,5 m/s. Si la velocidad que presenta el fluido fuese mayor a la velocidad media del flujo, se considerara el diámetro mayor comercial, sin embargo, cada sector de riego funcionará uno a la vez en un tiempo de riego determinado y tendrá un caudal máximo de diseño de 2 l/s (Cucho, 2018).

4.9.1.1. Pérdidas de Carga por Fricción.

A medida que el agua circula por las tuberías y atraviesa los distintos elementos del sistema va perdiendo presión debido al rozamiento del sistema. Se

expresa en las mismas unidades que la presión, normalmente en metros de columna de agua (mca.) (Fernández et al., 2010). Para el cálculo de la pérdida de carga de una tubería longitudinal se aplica la siguiente ecuación:

$$hf = J * L$$

Donde:

hf = Pérdida de carga en la tubería (m)

J = Pérdidas de carga en (m/100m)

L = Longitud de la tubería (m)

* **Fórmula de Hazen y William para tuberías**

$$J = 1,21x10^{10} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * D^{-4,87}$$

Donde:

J = Gradiente hidráulico o pérdida de carga en (m/100m)

Q = Caudal (l/s)

C = Coeficiente de fricción (Tabla 1)

D = Diámetro interno de la tubería (mm)

Tabla 1. Coeficiente de Hazen-Williams para varios materiales

Material	Coeficiente	Material	Coeficiente
Asbesto-cemento	135	Concreto, acabado común	120
Cobre y Latón	130	Acero galvanizado	125
Hierro fundido, 30 años	75-90	Plomo	130-140
Concreto, acabado liso	130	Aluminio	130

Fuente: Lorencholl, 2010

4.9.1.2. Pérdidas de Carga por Salidas Múltiples.

La pérdida de carga por fricción en una tubería con salidas múltiples es menor que en una tubería simple con la misma longitud, el mismo diámetro interno y transportando un caudal constante a lo largo de toda la longitud de la tubería, esto

debido a que el caudal va disminuyendo gradualmente a lo largo de la tubería (Jiménez, 2021).

Christiansen (1942), ideó un procedimiento por medio del cual se puede obtener un valor aproximado de la pérdida de fricción total. El procedimiento de Christiansen da lugar a una fórmula generalizada para corregir las pérdidas de carga por fricción, mediante lo que denominó el Factor de Salidas Múltiples (F). Se presentan tres condiciones para el cálculo del factor (F) según sea el caso:

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

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

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

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

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

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

Donde:

F = Factor de Christiansen

B = Coeficiente en función del material de la tubería

n = Número de salidas

4.9.1.3. Condiciones que se debe Cumplir para el Dimensionamiento de un Lateral.

Tarjuelo y Benito (2005); citado en Guamán, (2021) señala que, la base principal para la determinación de los diámetros de los ramales portaspersores se fundamenta en la uniformidad de distribución de caudales en el área de riego, para ello se debe tener presente la siguiente regla, la diferencia de presión entre el primero y último aspersor en un lateral no deben exceder al 20 % de la presión media o presión nominal del aspersor a lo largo del lateral, lo que produce que el caudal descargado por dos aspersores cualesquiera de un ramal sea inferior al 10 % del caudal nominal.

Este mismo criterio podría aplicarse al conjunto de ramales que constituyen un bloque de riego en los sistemas que llevan una sola válvula por bloque. Esta variación de caudal es equivalente a una variación de presión del 20 % de la presión promedio nominal del aspersor, de esta manera se tendrá como condición de diseño:

$$\frac{Pm}{\gamma} - \frac{Pn}{\gamma} = hf \leq 0,2 \frac{Pa}{\gamma}$$

Donde:

$\frac{Pm}{\gamma}$ = Máxima presión en el aspersor o en el origen del ramal (m)

$\frac{Pn}{\gamma}$ = Mínima presión en el aspersor o en el último aspersor (m)

$\frac{Pa}{\gamma}$ = Presión nominal del aspersor, que se hará coincidir con la presión promedio en el ramal (m)

hf = Pérdida de carga en el lateral (m)

4.9.1.4. Pérdidas de Cargas Locales.

Estas pérdidas de carga se producen por la presencia de accesorios de instalación en la red de tuberías, que hacen variar la dirección o la sección por donde circula el fluido. Para estas pérdidas de carga localizadas existen pocos resultados de validez, debido principalmente a que el carácter del flujo de los accesorios es bastante complicado y la forma para determinar el valor de las pérdidas de carga es experimental (PRESSMAN, s. f.).

La magnitud de la pérdida de carga local se expresa como una fracción de la carga de velocidad, inmediatamente aguas abajo del sitio donde se produjo la pérdida. La velocidad del flujo dentro del accesorio se estima en base al caudal y diámetro interno del accesorio, mediante la siguiente ecuación (Jiménez, 2017).

$$h_i = K_i * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h_i = Pérdida por accesorio (m)

K_i =: Factor que depende del accidente u obstrucción en el flujo (Tabla 2)

V : Velocidad media en el tramo de tubería aguas abajo de la obstrucción (m/s)

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

El coeficiente K_i es adimensional y depende de parámetros adicionales, tales como el número de Reynolds, rugosidad relativa, relaciones geométricas y del tipo de singularidad o accesorio hidráulico que se esté analizando.

Tabla 2. Coeficiente K para pérdidas de carga por accesorios

Pieza o conexión	Ki	Pieza o conexión	Ki
Rejilla de entrada	0,80	Codo largo de 45°	0,20
Ampliación gradual	0,30	Tee de flujo en Angulo	1,50
Ampliación brusca	0,20	Tee con salida bilateral	1,80
Reducción gradual	0,25	Válvula de compuerta abierta	5,00
Reducción brusca	0,35	Válvula de ángulo abierta	5,00
Codo corto de 90°	0,90	Válvula de globo abierta	10,00
Codo largo de 90°	0,40	Bifurcación	0,10

Fuente: CONAGUA, 2002

4.9.1.5. Carga Dinámica Total.

Se define como la suma total de resistencias del sistema mientras el fluido está en movimiento, estas corresponden a la carga estática total, a la pérdida de carga por fricción en la tubería de succión y descarga, y a la presión nominal del aspersor (CNA, 2007).

4.9.2. Motobombas de Agua

Fernández et al. (2010), menciona que las motobombas son elementos de instalación que suministran el caudal de agua necesario a la presión adecuada. En sistemas de riego localizados para mover el agua de un punto inicial a otro a través de las tuberías se necesita una motobomba, habitualmente funcionan a base de electricidad y/o combustible fósil, produciendo la energía suficiente para que se realice el riego uniforme.

4.9.2.1. Altura de Elevación.

La forma más usual de elevar el agua es por medio de motobombas hidráulicas movidas por motores eléctricos o de explosión. En el caso más general las motobombas hidráulicas actúan en dos fases:

- * Aspiración.
- * Impulsión.

En la fase de aspiración el agua se eleva desde su nivel superior hasta el eje de la motobomba, siendo conducida por la tubería de aspiración en la que la motobomba realiza el vacío con el fin de que el agua suba por ella. Se recomienda que la altura existente entre el nivel del agua aspirada y el centro o eje de la motobomba, denominada altura geométrica de aspiración (H_a), no sea superior a 7 metros.

En la fase de impulsión el agua es conducida desde la motobomba hasta su destino final, mediante la tubería de impulsión. La motobomba debe elevar el agua hasta el punto más alto de la instalación y además darle la presión necesaria para que salga por los emisores.

La instalación de una motobomba viene representada en el Anexo 18, en donde la motobomba aspira el agua desde el punto de captación y lo impulsa hasta un depósito, considerando las siguientes alturas:

- * ***Altura geométrica de aspiración (H_s):*** Es la distancia vertical existente entre el eje de la motobomba y el nivel superior del agua.
- * ***Altura geométrica de impulsión (H_i):*** Es la distancia vertical existente entre el nivel superior del agua (superficie del agua en el depósito de impulsión o el punto de descarga libre de la tubería de impulsión) y el eje de la motobomba.
- * ***Altura geométrica total:*** Es la distancia vertical existente entre los niveles superior e inferior del agua.
- * ***Altura manométrica de aspiración:*** Es igual a la altura geométrica de aspiración más las pérdidas de carga en la tubería de aspiración.

- * **Altura manométrica de impulsión:** Es igual a la altura geométrica de impulsión más las pérdidas de carga en la tubería de impulsión.
- * **Altura manométrica total:** Es el resultado de la suma de la altura manométricas de aspiración y la altura manométrica de impulsión. Esta es la altura hasta donde la motobomba debe impulsar el agua, para su posterior distribución.

4.9.2.2. Tipos de Motobombas de Agua.

Actualmente existe gran variedad de motobombas utilizadas para dotar al agua de la energía necesaria para ser impulsada y llegar hasta su destino. Las que se utilizan más comúnmente en agricultura son las denominadas turbo máquinas, en las que se produce un aumento de la velocidad del agua provocada por el movimiento giratorio de un elemento denominado rodete o impulsor, formado por palas.

Si el agua entra en el rodete por el centro y es impulsada en la dirección radial debido a la fuerza centrífuga, la motobomba se denomina centrífuga, mientras que si entra por el centro del rodete y la impulsa en la misma dirección que trae en la aspiración, se denomina axial.

Motobombas centrífugas

Espinosa (2015), señala que las motobombas centrífugas son las más utilizadas en el riego, por las numerosas ventajas que ofrecen: tamaño reducido, caudal constante, presión uniforme, bajo mantenimiento y flexibilidad de regulación, se compone de los siguientes elementos (Figura 1):

- * **Eje del rotor:** El eje es el componente que conecta el elemento motor con el impulsor, y por medio de éste es transmitida la energía desde el motor o elemento accionador a la motobomba.

- * **Rodete o impulsor:** Es el elemento móvil, está formado por unas paletas o álabes unidos a un eje que recibe energía del exterior.
- * **Distribuidor:** Consiste en un estrechamiento que conduce el agua desde la tubería de aspiración hasta el rodete.
- * **Difusor:** Está formado por unos álabes fijos, que tienen por misión reducir la velocidad y aumentar la presión del agua que sale del rodete.
- * **Voluta:** Es la cámara o carcasa en forma de espiral de una motobomba centrífuga dentro de la cual gira el rodete y que recoge el fluido propulsado radialmente por éste, dirigiéndolo hacia el difusor de salida.

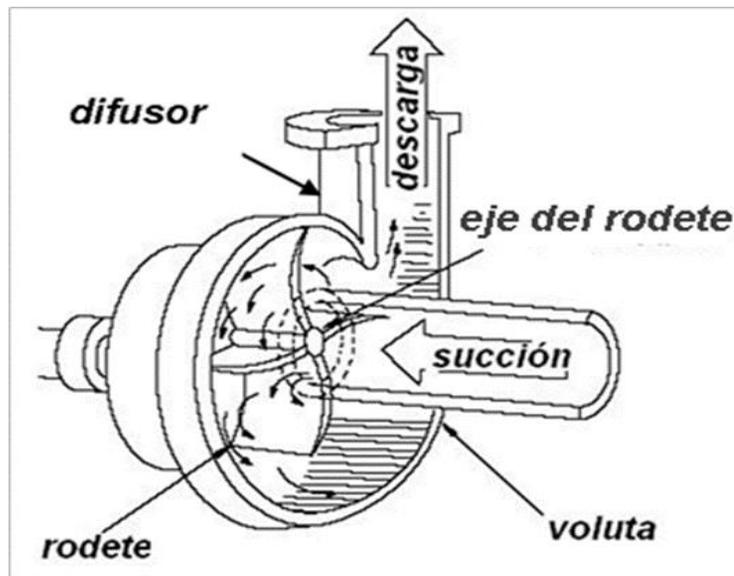


Figura 1. Elementos de una motobomba centrífuga

Fuente: Connor (2019)

Motobomba periférica

Son equipos con movimiento rotatorio, que funcionan por un único rodete, altas cabezas con caudales bajos, incluyen un diseño compacto y la capacidad de funcionar con un NPSH requerido bajo. Las motobombas periféricas, así como las motobombas centrífugas, son motobombas cinéticas (Camargo et al., 2018).

4.9.2.3. Características de Funcionamiento de las Motobombas Centrifugas.

De acuerdo con Ramón (2021), la altura geométrica de aspiración, en la mayoría de los casos, será inferior a 5-6 metros y debe evitarse la acumulación de aire en la tubería de aspiración, para lo cual se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- * En las motobombas de eje horizontal, el diámetro de la tubería de aspiración suele ser superior al orificio de aspiración de la motobomba, en cuyo caso la unión entre ambos debe tener una forma que impida la formación de bolsas de aire, que dan lugar a vibraciones peligrosas. Esta unión se hace mediante un cono excéntrico.
- * En el extremo inferior de la tubería de aspiración se coloca una válvula de pie, con una alcachofa o colador situada a una distancia mínima del fondo de 50 cm. para evitar la succión de sedimentos. La válvula de pie debe colocarse a una distancia mínima del nivel del agua de 2 veces el diámetro de la tubería, para evitar la succión de aire.
- * Para evitar o minimizar las turbulencias a la entrada de la motobomba debería instalarse un tramo de tubería recta antes de la entrada de la motobomba, cuya longitud sea 5-6 veces el diámetro de la tubería.

4.9.2.4. Potencia del Motor de la Bomba.

El motor es el encargado de suministrar la energía cinética que requiere la motobomba para poder elevar el caudal a una altura manométrica determinada, para el mismo, el motor requiere una determinada potencia que se puede calcular fácilmente (en caballos de vapor, CV) aplicando la siguiente expresión (Fernández et al., 2010).

$$Pb = \frac{Q * H}{75 * rb * rm}$$

Donde:

Q = Caudal (l/s)

H = Altura manométrica (mca)

rb = Rendimiento de la motobomba (%)

rm = Rendimiento del motor (%)

5. Materiales y Métodos

5.1. Localización del Área de Estudio

El estudio se ubica en el barrio La Victoria, aproximadamente a 4,5 km al occidente de la ciudad de Loja, en la parroquia Sucre, cantón y provincia de Loja, como se lo puede observar en la Figura 2. Limita al norte con la parroquia Carigan, al sur con la parroquia Punzara, al este con la parroquia el Sagrario y al oeste con el cantón Catamayo y la parroquia el Tambo. Geográficamente se encuentra en las siguientes coordenadas UTM WGS84:

Latitud: 3° 59'59"; 3° 59'55" S

Longitud: 79° 14'35"; 79° 14'30" O

Altitud: 2 260 m s.n.m.

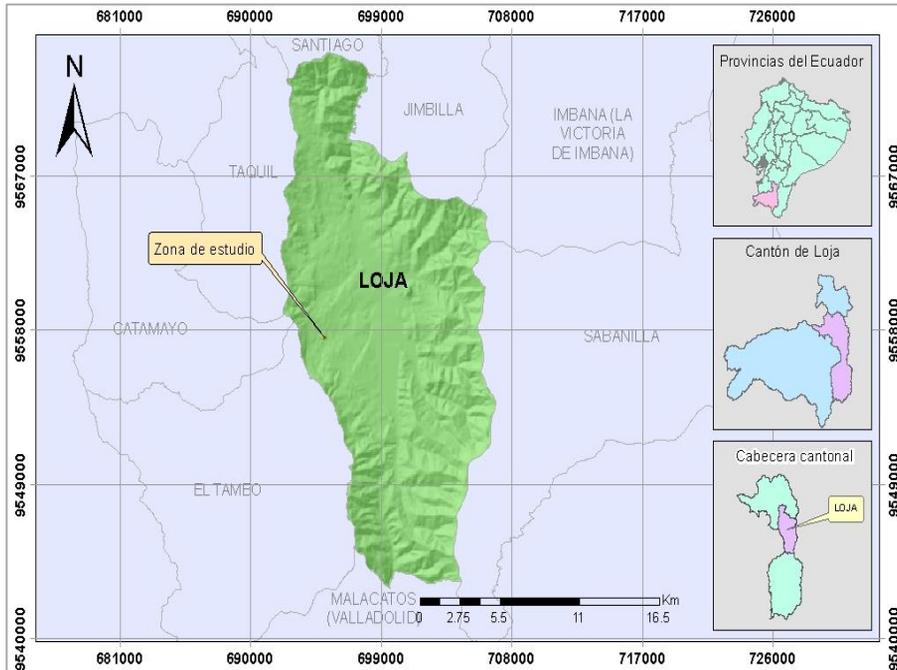


Figura 2. Ubicación del predio Lote bonito
Elaborado por: El autor, 2022

De acuerdo al MAGAP (2013), el clima de la zona de estudio es templado lluvioso, con temperaturas mensuales que varían de 15,6 a 17,2 °C, precipitación media mensual de 82,03 mm y humedad media del 78 %. Es una transición entre el clima tropical ecuatorial y el frío andino, y presenta tres épocas climáticas definibles; la temporada lluviosa, desde enero con lluvias y soleados que se extiende hasta principios de mayo; la temporada de frío que empieza en junio con vientos y lloviznas que termina en septiembre y la temporada seca y soleada con precipitaciones ocasionales, desde agosto hasta noviembre, estas condiciones climáticas son favorables para cultivos de ciclo corto.

El área de estudio se encuentra a una altitud de 2 260 m s.n.m. y cuenta con una extensión de 0,64 ha, presenta una topografía irregular con una pendiente que va del 7 % en la parte llana, al 33 % en las partes más accidentadas, caracterizado como un terreno ondulado.

5.2. Materiales y Equipos

*** Materiales y equipos de campo**

Para determinar las propiedades hidrofísicas del suelo se utilizó: muestreador para toma de muestras no disturbadas, cilindros Koppecky, espátula, pala, flexómetro, anillos infiltrómetros, combo de goma, ollas de membrana de presión, hidrómetro ASTM, estufa, balanza de precisión, picetas, probetas de 1000 ml, tamiz de 2 mm y agua destilada.

*** Materiales de oficina**

Computadora con softwares (CROPWAT 8.0, QGIS, AutoCAD civil 3D estudiantil y Office), calculadora, libreta de apuntes y demás suministros de oficina.

5.3. Metodología para el Primer Objetivo

“Determinar las propiedades hidrofísicas del suelo en el predio Lote Bonito para diseñar el sistema de riego por aspersión”, la toma de muestras se lo realizó a nivel de campo y el análisis a nivel de laboratorio; las actividades realizadas se detallan a continuación:

5.3.1. Análisis de las Propiedades Físicas del Suelo

*** Textura del suelo**

Para implementar un riego tecnificado es necesario determinar las propiedades físicas del suelo, esto influye en la velocidad de infiltración del agua y así mismo la capacidad de retención del agua; utilizando un muestreador se recogió 9 muestras de suelo del horizonte superficial, a una profundidad radicular efectiva para el cultivo de brócoli de 30 cm, como se observar en el Anexo 1.

Se realizó una prueba de textura al tacto, que consiste en tomar dos cucharadas de suelo en las manos y agregarle agua necesaria para obtener una masa consistente, esta se froto contra una superficie lisa realizando un cilindro de 10 cm

de longitud aproximadamente, con este se formó un círculo y de acuerdo a la resistencia al agrietamiento de la masa se determinó la textura.

El análisis en el laboratorio utilizando el método de Bouyoucos se realizó lo siguiente:

- Según la metodología propuesta por el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja, las muestras tomadas se llevaron al horno para secarlas a 105 °C durante 24 horas, después se pasaron por el tamiz N° 10 de 2 mm de diámetro.
- Se colocó 50 g de suelo en un vaso de precipitación, luego se agregó 100 ml de agua destilada, sometidas a una solución dispersora de partículas (5 ml de NaOH y 5 ml de Na₂C₂O₄) y se dejó reposar por un periodo de 30 minutos.
- Se agitó la mezcla por 5 minutos y se pasó a una probeta de 1000 ml durante 2 horas, a continuación, se tomó 3 lecturas utilizando el hidrómetro.
- Por último, se determinó con las debidas correcciones los porcentajes de arcilla, limo y arena, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\%A_o = 100 - \left(\frac{1^{\circ}lec * 100}{50 seg} \right)$$

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

$$\%A_c = \left(\frac{2^{\circ}lec * 100}{50 seg} \right)$$

Donde:

A_o= Arena (%)

L_o= Limo (%)

A_c= Arcilla (%)

* **Densidad aparente (Da)**

Se utilizó el método del cilindro metálico, consistió en introducir un cilindro biselado de 100 cm³ en el suelo con ayuda de un muestreador para tomar muestras de suelo no disturbadas, enrasando el suelo con los bordes del cilindro, en el laboratorio se introdujo las muestras en la estufa a 105 °C por 24 horas, finalmente se pesa el suelo seco, descartando el peso del cilindro contenedor, y se determina su valor aplicando la siguiente expresión:

$$Da = \frac{MSS}{Vc}$$

Donde:

Da= Densidad aparente (g/cm³)

MSS= Muestra de suelo seco (g)

Vc= Volumen de cilindro (cm³)

5.3.2. Determinación de Propiedades Hidrofísicas del Suelo del predio “Lote Bonito”

Las propiedades hidrofísicas del suelo son importantes para entender la dinámica de movimiento de agua y solutos en el suelo.

Para facilitar el reconocimiento edafológico del suelo, se realizó una calicata hasta una profundidad de un metro, esto es debido a que el material parental del suelo comenzaba a mostrarse, en el perfil del suelo se observó un horizonte superficial A de 0 - 45 cm, que contiene materia orgánica bien mezclada con la parte mineral y un horizonte B de 35 cm con sustancias lavadas del horizonte A, tal como se muestra en el Anexo 1, imagen 3.

Utilizando cilindros metálicos, se extrajo nueve muestras de suelo no disturbadas con la ayuda de un muestreador, a una profundidad de 30 cm.

* **Capacidad de campo (CC)**

Las muestras tomadas en el campo del perfil del suelo se llevaron al laboratorio y se realizó lo siguiente:

- Primero se obtuvo el peso de las muestras de suelo húmedo y después se cubrió con una malla en la parte inferior del cilindro, para dejarlas saturar por 24 horas en una bandeja con agua.
- Se retiró la malla y se colocó el cilindro en la olla de membrana de presión por un lapso de 24 horas a una tensión de 1/10 y 1/3, y posterior se volvieron a pesar.
- Para determinar su valor se utilizó la siguiente expresión:

$$\%CC = \frac{PSH - PSS}{PSS} * 100$$

Donde:

CC= Capacidad de campo (%)

PSH= Peso de suelo húmedo (g)

PSS= Peso de suelo seco (g)

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

Se trituró y tamizó el suelo que resultó del análisis a capacidad de campo, el suelo triturado se colocó en un anillo de goma que se lo saturó por 24 horas en una bandeja con agua, las muestras se introdujeron en la olla de membrana de presión por un lapso de 24 horas, finalmente se volvió a triturar y se pesó, con los valores resultantes se aplicó la ecuación siguiente:

$$\%PMP = \frac{PSH - PSS}{PSS} * 100$$

Donde:

PMP= Punto de marchitez permanente (%)

PSH= Peso de suelo húmedo (g)

PSS= Peso de suelo seco (g)

* **Agua aprovechable**

El contenido de humedad aprovechable se la encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, se la determinó utilizando la ecuación a continuación:

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

Donde:

AA= Agua aprovechable (%)

CC= Capacidad de campo (%)

PMP= Punto de marchitez permanente (%)

Da= Densidad aparente (g/cm³)

5.3.3. Velocidad de infiltración

Se utilizó el método infiltrómetro de doble anillo con el siguiente procedimiento:

- Se despeja una superficie plana de aproximadamente 2 m².
- Utilizando un combo de goma fijamos al suelo los anillos infiltrómetros, uno dentro del otro.
- Saturamos de agua los anillos concéntricos de diámetros diferentes, para a continuación medir la variación del nivel del agua en el cilindro interior.

- Se realizó 9 lecturas cada 5 minutos, 5 lecturas cada 10 minutos, 3 lecturas cada 15 minutos, 2 lecturas cada 20 minutos y 2 lecturas cada 30 minutos. Su valor se obtuvo aplicando la siguiente ecuación de Kostiakov:

$$I = K * T^n$$

Donde:

I= Velocidad de infiltración (mm/h)

K= Coeficiente que representa la velocidad de infiltración para el intervalo inicial de tiempo

T= Tiempo (min)

n= Exponente adimensional que varía de acuerdo a las características del suelo entre 0 y -1

5.4. Metodología para el Segundo Objetivo

“Calcular las necesidades de riego en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de brócoli para las condiciones agroecológicas de la zona de estudio”, para el cumplimiento de este objetivo se desarrollan las actividades que se detallan a continuación:

5.4.1. Recolección de Información

Se recolecto datos meteorológicos de temperatura máxima y mínima, precipitación mensual, humedad relativa y velocidad del viento, que fue tomada de los anuarios del INAMHI, en un periodo de 22 años (1990-012), de la estación meteorológica La Argelia, ubicada a 5,8 Km al sur del lugar de estudio, en las coordenadas planas: este 699459, norte 9553503, a una altitud de 2173 m s.n.m. Se utilizó esta estación meteorológica por estar cercana al lugar de estudio, además de que se encuentra en la misma vertiente izquierda del rio Malacatos y a una altitud similar a la del predio.

5.4.2. *Elaboración de Diagrama Ombrotérmico*

El diagrama ombrotérmico o climograma de Gaussen es una gráfica de doble entrada que representa las condiciones climáticas del lugar, utilizando datos de temperatura y precipitación media mensual de un periodo anual.

Se determinó el índice de aridez de Gaussen para medir la aridez mensual, tomando en cuenta que un mes es árido cuando el doble de su temperatura es igual o mayor que las precipitaciones registradas, el índice de Gaussen se lo determinó mediante la ecuación siguiente:

$$I_g = \frac{P}{T + 10}$$

Donde:

I_g= Índice de Gaussen

P= Precipitación mensual (mm)

T= Temperatura media mensual (°C)

5.4.3. *Determinación de la Evapotranspiración de Referencia (ET_o)*

La ET_o se determinó utilizando el software CROPWAT versión 8.0, desarrollada por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas de la FAO, que usa la ecuación de Penman-Monteith modificada; se requirió de datos meteorológicos como temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento, horas de sol y otras variables como la resistencia aerodinámica, la resistencia superficial del cultivo y el albedo; además de, la ubicación de la estación (latitud, longitud y altitud).

5.4.4. *Determinación del Coeficiente de Cultivo (K_c)*

La estimación del valor del K_c inicial para el brócoli se realizó mediante estimadores gráficos, teniendo en cuenta la ET_o (mm/día) en el momento de la

siembra y la lámina de agua infiltrada similar a 10 mm, mientras que, el cálculo del Kc de mediados y finales de temporada se obtuvo utilizando el valor del Kc de mediados y finales de temporada que propone FAO para el cultivo de brócoli (Anexo 8), corregido por la ecuación que toma en cuenta los parámetros climáticos del lugar.

$$Kc \text{ med o fin} = Kc \text{ med o fin FAO} + [0,04(u - 2) - 0,004(HRmin - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}$$

Donde:

Kc med o final FAO= Valor propuesto para cada cultivo

u= Velocidad del viento a 2 m de altura en (m/s)

HRmin= Humedad relativa mínima media diaria (%)

h= Altura media del cultivo (m)

5.4.5. Determinación de la Evapotranspiración del Cultivo (ETc)

La evapotranspiración de un cultivo ETc, se determinó a partir de la ecuación siguiente, que relaciona la evapotranspiración de referencia ETo y el valor del Kc modificado para el cultivo de brócoli.

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

ETc= Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETo= Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kc= Coeficiente de cultivo

5.5. Metodología para el Tercer Objetivo

“Diseñar un sistema de riego por aspersión en el componente agronómico e hidráulico para el cultivo de brócoli en el predio Lote Bonito”, para el cumplimiento de este objetivo, se realizó lo siguiente:

5.5.1. Diseño Agronómico

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

5.5.1.1. Parámetros de Riego de los Cultivos.

El diseño del riego se basa en las exigencias del régimen de riego, mismo que debe abastecer el volumen de agua requerido por el cultivo. Por lo tanto, primero se identificó dicha etapa y se obtuvo los datos pertinentes.

En el mismo proceso se determinó el régimen de riego para las demás etapas de desarrollo del cultivo, además se tomaron en consideración las variables meteorológicas y desarrollo del cultivo durante cada etapa, para elaborar el calendario de riego.

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

La lámina de agua disponible se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$LAA = \frac{(CC - PMP)}{100} * \frac{Da}{Dw} * P$$

Donde:

LAA= Lámina de agua aprovechable (mm)

CC= Capacidad de campo (%)

PMP= Punto de marchitez permanente (%)

Da= Densidad aparente (g/cm³)

Dw= Densidad del agua (g/cm³)

P= Profundidad efectiva radicular (mm)

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

La cantidad de agua suministrada entre dos riegos consecutivos, no debe permitirse un agotamiento total del agua en el suelo, sino que debe mantener un cierto porcentaje de agotamiento (P_a) de acuerdo al cultivo, se la obtuvo aplicando la siguiente expresión:

$$LARA = LAA * P_a$$

Donde:

LARA= Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

LAA = Lámina de agua aprovechable (mm)

Pa = Fracción de agotamiento (%)

* **Frecuencia de riego (Fr)**

Una de las aplicaciones inmediatas para instalar un riego por aspersión es la determinación del intervalo entre riegos, tomando en cuenta que existen precipitaciones altas en la zona de riego, se lo determina utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Fr = Frecuencia de riego (días)

LARA= Lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva (mm)

Etc_{max}= Evapotranspiración máxima (mm/día)

* **Frecuencia de riego ajustada (Fr ajus)**

Se ajusta la frecuencia de riego a un valor entero, facilitando la eficiencia del riego, para lo cual se aplicó la siguiente operación:

$$Fr\ ajus = Entero(Fr)$$

Donde:

Fr ajus= Frecuencia de riego ajustada (días)

Fr= Frecuencia de riego (días)

* **Ciclo de riego (Cr)**

Es el numero integro de días durante el cual se riega una parcela, incluyendo un factor de seguridad y días de descanso del agricultor. Esto implica que el ciclo de riego debe ser menor que el intervalo de riego, para obtenerlo se utilizó la siguiente expresión:

$$Cr = Fr(aj) - dp$$

Donde:

Cr = Ciclo de riego (días)

Fr (aj)= Frecuencia de riego ajustado (días)

dp = Días de paro (días)

* **Lamina de riego ajustada LR (ajs)**

Para su estimación se aplicó la ecuación siguiente:

$$LR(ajs) = Fr(aj) \times ETC$$

Donde:

LR (ajs) = Lamina de riego ajustada (mm)

Fr(aj) = Frecuencia de riego ajustada (días)

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

* **Lamina bruta o total (LBt)**

Es la lámina de agua que se repone tomando en cuenta la eficiencia del método de riego, se la obtiene aplicando la siguiente expresión:

$$LBt = \frac{LR(ajs) \times 100}{Ef}$$

Donde:

LBt= Lamina bruta (mm).

LR (ajs)= Lamina de riego ajustada (mm).

Ef= Eficiencia del método de riego (%).

* **Selección del aspersor.**

Se eligió el emisor teniendo en cuenta la forma de la superficie a regar, la capacidad de alcance, el caudal y la presión total, para ello se utilizó el catálogo de los fabricantes para analizar el comportamiento de los aspersores, además se toma en cuenta los requerimientos hídricos del cultivo de brócoli, frecuencia y lamina necesaria.

* **Marco de riego**

Teniendo en consideración que el viento es uno de los principales elementos meteorológicos que distorsiona la uniformidad de distribución del aspersor, se seleccionó para el área 1 una distribución rectangular, con separación entre ramales del 75 % del diámetro mojado y el 40 % del diámetro entre aspersores; la

distribución del área 2 será cuadrada, con separaciones del 60 % entre laterales y emisores, o se adoptará el espaciamiento que recomienda el fabricante del aspersor.

* **Precipitación horaria del sistema de riego (Phr)**

La condición es que la velocidad de infiltración del suelo debe ser mayor o igual que la intensidad de precipitación del aspersor de riego seleccionado ($Phr \leq VI_b$), se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Phr = \frac{qe \times 100}{de \times dl \times Par}$$

Donde:

Phr = Precipitación horaria (mm/h)

qe = Caudal emisor (l/h)

de = Distancia entre emisores contiguos en el lateral (m)

dl = Distancia entre laterales contiguos (m)

Par = % área bajo riego

* **Tiempo de riego por turno (Tr)**

Se determinó el tiempo necesario para reponer la lámina de agua requerida mediante la siguiente ecuación:

$$Tr = \frac{LBt}{Phr}$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego por turno (h/turno)

LBt = Lámina bruta (mm)

Phr = Precipitación horaria del sistema de riego (mm/h)

* **Máximo número de turnos de riego diarios (Td)**

Tomando como máximo 12 horas de riego que se puede realizar en un día, se determinó el número máximo de turnos por día, con la siguiente ecuación:

$$Td = \text{Entero} \left[\frac{Hm}{Tr} \right]$$

Donde:

Td= Turnos de riego diario (turnos/día)

Hm= Máximo número de horas de riego por día (h/día)

Tr= Tiempo de riego (h/turno)

* **Horas de riego por día (Hd)**

Se lo calcula con la siguiente expresión:

$$Hd = Td * Tr$$

Donde:

Hd= Horas de riego diarias (h/día)

Td= Turnos de riego diario (turnos/día)

Tr= Tiempo de riego (h/turno)

* **Horas de riego por ciclo (Hc)**

Se determinó con la ecuación siguiente:

$$Hc = Cr * Hd$$

Donde:

Hc= Horas de riego por ciclo (h/ciclo)

Cr= Ciclo de riego (días)

Hd= Horas de riego diarias (h/día)

* **Numero de turnos por ciclo (Tc)**

El número de turnos por ciclo que el sistema va a estar funcionando se lo determinó en función de la siguiente ecuación:

$$Tc = Cr * Td$$

Donde:

Tc= Turnos por ciclo (turnos/ciclo)

Cr= Ciclo de riego (días)

Td= Turnos de riego diario (turnos/día)

* **Superficie bajo riego por turno (St)**

Se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

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

Donde:

St = Superficie de riego por turno (ha/turno)

Sr = Superficie total de riego por ciclo (ha/ciclo)

Tc = Turnos de riego por ciclo (turnos/ciclo)

* **Dosis de riego total por turno (DTt)**

Para su determinación se utilizó la siguiente expresión.

$$DTt = St * DT$$

Donde:

DTt = Dosis total por turno (m³/turno)

St = Superficie por turno de riego (ha/turno)

DT = Dosis total (m³/ha)

* **Caudal requerido por hora (Qr)**

Se lo determina mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

Qr= Caudal requerido (m³/h)

DTt= Dosis de riego total por turno (m³/turno)

Tr= Tiempo de riego (h/turno)

* **Numero de emisores por turno (N°emi)**

Se calculó los emisores que pueden funcionar, en función del caudal requerido y al caudal del emisor seleccionado, mediante la fórmula siguiente:

$$N^{\circ}emi = \frac{Qr}{qe}$$

Donde:

N° emi = Número de emisores por turno (e/turno)

Qr = Caudal requerido (l/h)

qe = Caudal del emisor (l/h)

* **Número de emisores por lateral (Nel)**

Se calculó según la siguiente ecuación:

$$Nel = \frac{LTL}{Da}$$

Donde:

Nel = Número de aspersores por lateral

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

Da = Distancia entre aspersores (m)

* **Longitud del lateral (Ll)**

Si el primer aspersor se ubica a la mitad de la separación entre aspersores ($Da/2$), se aplica la siguiente ecuación:

$$Ll = Da * (Nel - 0,5)$$

Donde:

Ll = Longitud del lateral (m)

Da = Distancia entre aspersores (m)

Nel = Número de emisores por lateral (Unidad)

* **Caudal del lateral (Ql)**

Se determinó según la siguiente expresión matemática:

$$Ql = Qe * Nel$$

Donde:

Ql = Caudal del lateral (l/h)

Qe = Caudal del aspersor (l/h)

Nel = Número de emisores por lateral (Unidad)

* **Número de laterales en el área (Nl)**

Para ello se utilizó la siguiente expresión:

$$Nl = \frac{Ls}{Dl}$$

Donde:

Nl = Número de laterales en el área (Unidad)

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

Dl = Distancia entre laterales (m)

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

De acuerdo al número de emisores que van a funcionar por turno Se determinó el caudal de la línea secundaria, utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_s = Q_l * N_l$$

Donde:

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

Q_l = Caudal del lateral (l/h)

N_l = Número de laterales (Unidad)

5.5.2. *Diseño Hidráulico*

El diseño hidráulico tiene como finalidad definir los diámetros y longitudes de las diferentes tuberías que conforman el riego por aspersión, como laterales, tuberías principales y tubería secundarias, bajo un criterio de optimizar el agua de riego.

5.5.2.1. **Diseño del Lateral**

* **Pérdidas de carga por fricción longitudinal en los laterales**

Para su determinación se utilizó la fórmula de Hazen-William, para tuberías de PVC.

$$hf = J * L$$

Donde:

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

J = Perdidas de carga (m/100m)

L = Longitud de la tubería (m)

Mientras que el gradiente hidráulico se determinó en función de la siguiente ecuación propuesta por Hazen-Williams:

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

Donde:

J = Perdidas de carga (m/100m)

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

C = Coeficiente de fricción, para materiales plásticos en riego es de 150

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

*** Pérdidas de carga por fricción en salidas múltiples**

Se utilizó el coeficiente de reducción de pérdidas de Christiansen, dependiendo del número de salidas, que se lo obtuvo por tablas (Anexo 13), en donde para su estimación se utilizó la ecuación siguiente:

$$hf' = hf * F$$

Donde:

hf' = Pérdidas de carga por fricción en salidas múltiples (m)

hf = Pérdida de carga en el lateral (m)

F = Coeficiente de Christiansen (adimensional)

*** Pérdidas de carga locales o de accesorios en laterales**

Las pérdidas locales se determinan en función de la velocidad de flujo promedio en la tubería y el coeficiente de resistencia, a partir de la siguiente ecuación planteada por Darcy-Weisbach:

$$h_l = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h_l = Pérdida de carga local o de accesorios (m)

K = Coeficiente de pérdidas menores en accesorios (adimensional)

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

g = Gravedad (9,81 m/s)

* **Presiones en el Lateral**

La condición es que, la diferencia de presiones entre el origen y al final del lateral debe ser menor al 20 % de la presión nominal, lo que producirá una diferencia del 10 % en el caudal de descarga, esta condición de diseño se representa en la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

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

$\frac{P_a}{\gamma}$ = Presión nominal del aspersor, que se hará coincidir con la presión promedio en el ramal (m)

hf = Pérdida de carga en el lateral (m)

Para la estimación de las presiones se eligió los aspersores en el lateral más crítico, la presión al origen del lateral se calculó con la siguiente ecuación:

* **Presión al origen del lateral**

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

Donde:

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

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

$\frac{Hg}{2}$ = Desnivel geométrico entre los extremos del lateral (m)

hf = Pérdida de carga en el lateral (m)

Ha = Altura del elevador (m)

* **Presión al final del lateral**

$$\frac{Pn}{\gamma} = \frac{Pa}{\gamma} - \frac{1}{4}hf + \frac{Hg}{2}$$

Donde:

$\frac{Pn}{\gamma}$ = Mínima presión en el aspersor o al final del lateral (m)

$\frac{Pa}{\gamma}$ = Presión de trabajo del aspersor (mca)

$\frac{Hg}{2}$ = Desnivel geométrico entre los extremos del lateral (m)

hf = Pérdida de carga en el lateral (m)

5.5.2.2. Diseño de Tubería Principal y Secundaria

* **Pérdidas de carga por fricción longitudinal en la tubería principal y secundaria**

Para su determinación se utilizó la fórmula de Hazen–William, para tuberías de PVC.

$$hf = J * L$$

Donde:

hf = Pérdida de carga por rozamiento en la tubería de conducción (m)

J = Perdidas de carga (m/100m)

L = Longitud de la tubería (m)

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

Donde:

J = Pérdidas de carga (m/100m)

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

C = Coeficiente de fricción, para materiales plásticos en riego es de 150

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

*** Pérdidas de carga por fricción en salidas múltiples**

Para su determinación, se multiplico las pérdidas de carga por un coeficiente de reducción de pérdidas de Christiansen, dependiendo del número de salidas, que se lo determinado por tablas (Anexo 13), en donde para su estimación se utilizó la ecuación siguiente:

$$hf' = hf * F$$

Donde:

hf' = Pérdidas de carga por fricción múltiple (m)

hf = Pérdidas de carga en la tubería de conducción (m)

F = Coeficiente de Christiansen (adimensional)

*** Pérdidas de carga locales o de accesorios**

Las pérdidas locales se determinan en función de la velocidad de flujo promedio en la tubería y un coeficiente de resistencia, a partir de la siguiente ecuación planteada por Darcy-Weisbach:

$$h_l = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h_I = Pérdida de carga local o de accesorios (m)

K = Coeficiente de pérdidas menores en accesorios (adimensional)

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

g = Gravedad (9,81 m/s²)

5.5.2.3. Carga Dinámica Total.

Se lo determinó sumando la presión nominal del emisor más la sumatoria de las pérdidas de carga en la tubería de conducción.

5.5.2.4. Selección de la Motobomba.

*** Altura geométrica de aspiración e impulsión**

La altura geométrica de aspiración corresponde a la distancia existente entre el nivel inferior del agua en el pozo de captación y el eje de la motobomba, mientras que la altura geométrica de impulsión se lo obtuvo midiendo el desnivel entre el eje de la motobomba y la superficie del agua en el depósito.

*** Pérdidas de carga en la tubería de conducción**

Para su determinación se utilizó la fórmula de Hazen–William, para tuberías de PVC.

$$hf = J * L$$

Donde:

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

J = Perdidas de carga (m/100m)

L = Longitud de la tubería (m)

Mientras que el gradiente hidráulico se determinó en función de la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

C = Coeficiente de fricción, para materiales plásticos en riego es de 150

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

* **Altura manométrica total**

Para su cálculo, se aplicó la siguiente ecuación:

$$Ht = Hms + Hmi$$

Donde:

Ht= Altura total (m)

Hms= Altura manométrica de aspiración (m)

Hmi= Altura manométrica de impulsión (m)

* **Potencia requerida de la motobomba**

Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Pm = \frac{Q \times H}{75 \times rb}$$

Donde:

Pm = Potencia del motor (hp)

Q = Caudal (l/s)

H = Altura manométrica (mca)

rb = Rendimiento de la motobomba (%)

Cuando la potencia del motor se expresa en kilovatios la fórmula es:

$$Pm = 0,0098 * \frac{Q \times H}{rb \times rm}$$

Donde:

Pm = Potencia del motor (Kw)

Q = Caudal (l/s)

H = Altura manométrica (mca)

rb = Rendimiento de la motobomba (%)

rm = Rendimiento del motor (%)

*** Velocidad específica**

De acuerdo con las circunstancias en las que se utilizara la motobomba, se calculó la velocidad específica, para determinar qué tipo de motobomba seleccionar,

mediante la siguiente ecuación:

$$V_{esp} = \frac{N * \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Donde:

V_{esp}= Velocidad especifica de la motobomba (adimensional)

N= Velocidad de giro de la motobomba (rpm)

Q= Caudal de la motobomba (gpm)

H= Altura total (pies)

5.5.3. Lista de Materiales

De acuerdo a la representación esquemática de distribución de la red de tuberías (Anexo 11), determinado en el diseño hidráulico, se realizó una lista de materiales y equipos necesarios para la instalación del sistema de riego.

6. Resultados

Con los resultados obtenidos en este apartado, se conocerá los periodos de tiempo en los que se debe regar, las necesidades hídricas del cultivo, obteniendo mejores rendimientos de producción.

6.1. Resultados para el Primer Objetivo

“Determinar las propiedades hidrofísicas del suelo en el predio Lote Bonito para diseñar el sistema de riego por aspersión”.

6.1.1. *Propiedades Físicas del Suelo*

* **Textura del suelo**

En la prueba de textura en el campo se percibió que las cantidades de arena, limo y arcilla están casi equilibradas, con las manos se formó un cilindro de 15 cm de largo, pero al de formar un círculo, este se rompió, lo que se intuyó que se trata de un suelo franco.

Al determinar la textura del suelo en el laboratorio, arrojó los valores que se aprecian en la Figura 3, y de acuerdo al triangulo textural del USDA (Anexo 2), pertenece a un suelo franco. Propiedades que le dan al suelo una alta capacidad de retención de humedad.

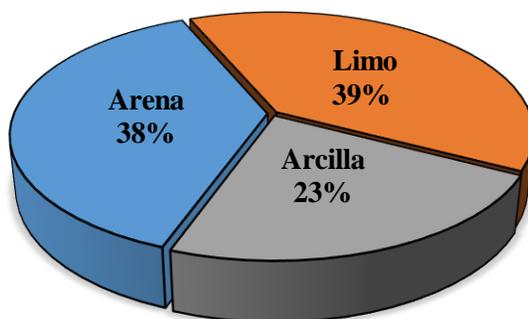


Figura 3. *Porcentajes de las fracciones del suelo*
Elaborado por: El autor, 2022

* **Densidad aparente (Da)**

Los valores de densidad aparente a los 30 cm del perfil del suelo, usando método del cilindro, oscilaron en un rango de 1,1 y 1,3 g/cm³, tal como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Densidad aparente a 30 cm de profundidad de suelo

Sector	Peso suelo	volumen del	Densidad
	seco	cilindro	aparente
	g	cm ³	(g/cm ³)
Alto	126,2	100	1,26
	125,2		1,25
	121,3		1,21
Medio	144,3	100	1,44
	142,8		1,43
	132,9		1,33
Bajo	130,5	100	1,31
	117,5		1,18
	111,0		1,11

Elaborado por: El autor, 2022

6.1.2. Propiedades Hidrofísicas del Suelo

Las muestras de suelo tomadas del predio Lote Bonito, que fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja, presentan los resultados que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Constantes hidrofísicas del suelo determinados a 30 cm de profundidad de suelo

CC 1/10	CC 1/3	PMP 15 atm	AA
%	%	%	%
28,6	26,6	14,8	11,73

Elaborado por: El autor, 2022

6.1.3. Velocidad de Infiltración Básica

De acuerdo a la prueba realizada en el campo, la velocidad de infiltración básica del predio en estudio es de 17 mm/h, valor obtenido con los datos de la

prueba de infiltración mostradas en el Anexo 4, donde se utilizó la ecuación de Kostiakov, cuyo procedimiento se puede visualizar en el Anexo 3.

6.2. Resultados para el Segundo Objetivo

“Calcular las necesidades de riego en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de brócoli para las condiciones agroecológicas de la zona de estudio”.

6.2.1. Diagrama Ombrotérmico

El climograma de Gaussen representada en la Figura 4, muestra que no existe meses áridos en el lugar, dado que la curva de temperatura se encuentra por debajo de la curva de precipitación.

Los meses con mayores precipitaciones son febrero y marzo con valores de 135 a 148 mm por mes, los valores bajos se registran en septiembre con 40 mm al mes. De octubre a diciembre su temperatura está por encima de los 17 °C, en julio y agosto se registran los valores más bajos de temperatura, con un promedio de 15,6 °C, y como se indica en el Anexo 7.

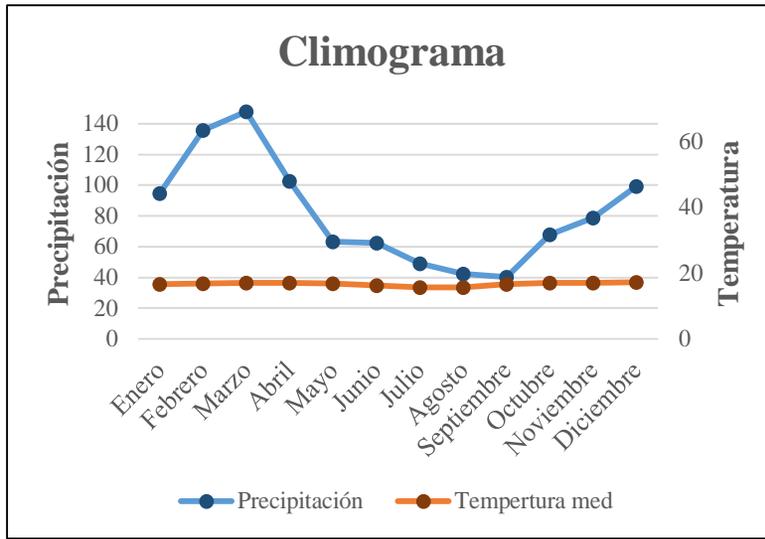


Figura 4. Diagrama ombrotérmico utilizando valores de temperatura media y precipitación de la estación meteorológica La Argelia

Elaborado por: El autor, 2022

Utilizando la ecuación de Gausson, se determinó un valor de 2,43, demostrando que no existe aridez en la zona de estudio a causa de que es un valor superior a cero, es decir la precipitación media mensual en el mes de septiembre donde se presenta el menor valor, es superior a dos veces el valor de la temperatura media mensual, como se lo visualiza a continuación:

$$I_g = \frac{40,3}{16,58}$$

$$I_g = 2,43$$

En cuanto a la clasificación climática, la hoya de Loja se describe como clima templado, a causa de que la temperatura media anual es de 16,66 °C, además es moderadamente lluvioso visto que posee una precipitación anual de 984,3 mm, en el caso de la clasificación climática del Ecuador, se describe a la zona como mesotérmico subhúmedo con lluvias moderadas durante todo el año y sequías esporádicas.

De acuerdo a esto, un riego complementario es de suma importancia, en especial para los meses de mayo a octubre, donde existe mayor déficit de lluvias, con precipitaciones menores a los 70 mm/mes.

6.2.2. Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET_o), por el Método de Penman-Monteith Utilizando el Programa CROPWAT

La evapotranspiración de referencia se la determino mediante CROPWAT 8,0 que utiliza el método de Penman-Monteith, en la Tabla 5 se muestra la ET_o por meses, donde el valor más alto de ET_o se presenta para el mes de noviembre con un valor equivalente a 3,89 mm/día, esto debido que en los meses de octubre y noviembre presentan las temperaturas máximas más altas, mientras que, el valor más bajo se presenta en el mes de julio con un valor de 2,73 mm/día.

Tabla 5. Evapotranspiración de referencia (ET_o) mediante el método de Penman-Monteith

Mes	T min	T max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET _o
	°C	°C	%	Km/día	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	12,0	21,4	79	36	6,6	19,7	3,51
Febrero	12,1	21,3	78	34	6,5	19,8	3,53
Marzo	12,5	21,7	77	33	6,4	19,6	3,52
Abril	12,4	21,8	76	33	6,5	18,8	3,34
Mayo	12,3	21,4	76	43	6,4	17,1	3,03
Junio	12,1	20,3	75	64	5,6	15,5	2,76
Julio	11,7	19,4	73	72	5,2	15,3	2,73
Agosto	11,6	19,9	70	78	5,7	17	3,05
Septiembre	11,7	21,4	71	60	6,7	19,5	3,49
Octubre	11,5	22,7	73	40	7,7	21,5	3,83
Noviembre	11,2	23,0	74	42	8,1	21,9	3,89
Diciembre	11,9	22,5	75	34	7,4	20,6	3,68
Promedio	11,9	21,4	75	47	6,6	18,9	3,36

Fuente: Datos meteorológicos de la estación la Argelia, 1990-2012

Elaborador por: El autor, 2022

Promediando estos datos para una determinación por etapas, la fase de cosecha presenta un valor de 3,51 mm/día, y la fase de desarrollo un valor de 3,86 mm/día, siendo el valor más alto de ETo, como se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores promediados de la evapotranspiración de referencia, para el cultivo de brócoli, a través del método de Penman-Monteith

Etapa fenológica	Desde-hasta	Duración de etapa	Ciclo de cultivo	ETo
		días	días	mm/día
Fase inicial	06/09/2020 - 10/10/2020	35	35	3,66
Fase de desarrollo	11/10/2020 - 24/11/2020	45	80	3,86
Fase intermedia	25/11/2020 - 03/01/2021	40	120	3,69
Fase cosecha	04/01/2021 - 18/01/2021	15	135	3,51

Elaborador por: El autor, 2022

6.2.3. Coeficiente de Cultivo (Kc)

El Kc para el brócoli durante la fase inicial mediante estimadores gráficos es de 0,6 aproximadamente, como se visualiza en el Anexo 9, y de 0,96 y 0,86 para la fase de mediados y finales de temporada respectivamente como se visualiza en la Tabla 7.

Tabla 7. Coeficiente de cultivo (Kc) para el brócoli, durante cada fase de cultivo

Etapa fenológica	Duración etapa	Ciclo de cultivo	Kc
	días	días	
Fase inicial	35	35	0,6
Fase de desarrollo	45	80	0,78
Fase intermedia	40	120	0,96
Fase final	15	135	0,86

Elaborador por: El autor, 2022

6.2.4. Evapotranspiración del Cultivo de Brócoli (ETc), en sus Diferentes

Fases Fenológicas

En la Tabla 8 se aprecian los valores resultantes de ETc, donde el requerimiento hídrico más alto se generó para la fase intermedia con 3,55 mm/día y el menor valor para la fase inicial con 2,20 mm/día. La tendencia de la

evapotranspiración en la fase final es que sea menor a la fase de mediados de cultivo, por lo que en el estudio esto se cumple.

Tabla 8. Evapotranspiración del cultivo de brócoli

Etapa fenológica	Duración de etapa	Ciclo de cultivo	ET _o	K _c	ET _c
	días	días	mm/día		mm/día
Fase inicial	35	35	3,66	0,60	2,20
Fase de desarrollo	45	80	3,86	0,78	3,01
Fase intermedia	40	120	3,69	0,96	3,55
Fase final	15	135	3,51	0,86	3,02

Elaborador por: El autor, 2022

6.3. Resultados del Tercer Objetivo

“Diseñar un sistema de riego por aspersion en el componente agronómico e hidráulico para el cultivo de brócoli en el predio Lote Bonito”.

6.3.1. Diseño Agronómico

El diseño agronómico tiene por finalidad garantizar que la instalación sea capaz de suministrar la cantidad suficiente de agua en época de máxima demanda.

*** Parámetros de riego de los cultivos.**

De acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo de obtuvo los parámetros de riego, para una profundidad de 30 cm, donde se encuentra la mayor cantidad de raíces del cultivo.

Se estima una eficiencia del método del riego del 85 %, propia para sistemas estacionarios, climas frescos y vientos débiles, conjuntamente se utilizó una fracción de agotamiento del 45 % de acuerdo al cultivo, dando como resultado los valores presentados en la Tabla 9.

Tabla 9. Parámetros de riego para el cultivo de brócoli

Parámetro	Valor (mm)
Lámina de agua aprovechable	52.98
Lámina de agua rápidamente aprovechable	23.84
Frecuencia de riego	6.72
Frecuencia de riego ajustado	6
Ciclo de riego	2
Lámina de riego ajustada	21.27
Lámina bruta	25.03

Elaborado por: El autor, 2022

*** Selección del aspersor**

Se consideró dos criterios básicos: las secciones de riego operen con una uniformidad de irrigación mayor al 90 %, y que la velocidad en la red de tuberías no sea mayor de 2,0 m/s.

El desnivel topográfico que existe en la zona de riego es de 20 m de altura entre el área 1 y 2, como se visualiza en el Anexo 5, de ahí que, hace necesario que se opere con aspersores de diferente presión de funcionamiento.

Por las condiciones topográficas se seleccionó aspersores con las siguientes características, además se lo puede observar en el Anexo 10:

Área 1

- Aspersor de impacto con brazo 3D.
- Tamaño de Boquilla: 4,0 mm + 2,5 mm.
- Caudal del aspersor: 1397 l/h.
- Presión del aspersor: 3 bar.
- Altura del elevador: 0,5 m.
- Diámetro de húmedo: 22 m.
- Trayectoria de chorro: 24 grados.
- Conexión de entrada: rosca macho de 1/2".

Área 2

- Aspersor de impacto con brazo 3D.
- Tamaño de Boquilla: 3,5 mm + 1,8 mm.
- Caudal del aspersor: 728 l/h.
- Presión del aspersor: 1,5 bar.
- Altura del elevador: 0,5 m.
- Diámetro de húmedo: 18 m.
- Trayectoria de chorro: 24 grados.
- Conexión de entrada: rosca macho de 1/2".

* Marco de riego

Para tener una mejor uniformidad de riego, se traslapa el diámetro de humedecimiento del aspersor; para el área 1 se seleccionó un marco de riego rectangular y para el área 2 un marco de riego cuadrado.

Tomando en consideración lo manifestado, el área 1 tendrá un marco de riego de 8 m entre emisores y 16 m entre laterales, pero para que exista una mejor uniformidad de riego se consideró una distribución en rectangular de 10 m entre emisores y 18 m entre laterales como lo recomienda el fabricante, mientras que para el área 2 se propuso una distribución en cuadrado con un diámetro entre laterales y emisores de 10 m, ver Anexo 12.

* Precipitación horaria del sistema de riego (Phr)

Las precipitaciones que arrojan los aspersores son de 7,76 mm/h para el área 1 y 7,28 mm/h para el área 2, cumpliendo la condición de que debe ser menor a la velocidad de infiltración básica (17 mm/h), evitando de esta manera que se forme una lámina de agua en la superficie o escorrentía en el suelo.

$$Phr = 7,76 \text{ (mm/h)}$$

$$Phr = 7,28 \text{ (mm/h)}$$

* **Tiempo de riego (Tr)**

El tiempo requerido para reponer la lámina de agua que el suelo a perdido por evapotranspiración, percolación o absorción de plantas y llevarlo a capacidad de campo es de 3,22 horas para el área 1, mientras que, para el área 2 es necesario un tiempo de riego de 3,44 horas, tal como se indica en los resultados a continuación:

$$Tr = 3,22 h$$

$$Tr = 3,44 h$$

* **Máximo número de turnos de riego diario (Td)**

Tomando 12 horas como un máximo de horas de riego diarios, se tendrá 3 turnos de riego por día para el área 1, de igual manera para el área 2 se regará 3 veces al día.

$$Td = 3 \left(\text{turnos}/\text{dia} \right)$$

$$Td = 3 \left(\text{turnos}/\text{dia} \right)$$

* **Horas de riego por día (Hd)**

Para el área 1, el sistema funciona 9,67 horas por día, en el área 2, el sistema funcionara durante 10,31 horas, como lo podemos ver en los resultados a continuación:

$$Hd = 9,67 \left(h/\text{dia} \right)$$

$$Hd = 10,31 \left(h/\text{dia} \right)$$

* **Horas de riego por ciclo (Hc)**

Las horas de riego que tardara en cumplir un ciclo son de: 19,35 horas para el área 1 y 20,63 horas para el área 2.

$$Hc = 19,35 \left(h/\text{ciclo} \right)$$

$$Hc = 20,63 \left(h/\text{ciclo} \right)$$

* **Numero de turnos por ciclo (Tc)**

El sistema realizara 6 turnos por ciclo, para el área 1 y 2, terminando de esta manera de regar toda el área de regadío.

Aplicando la siguiente expresión se obtuvo:

$$Tc = 6 \left(\frac{\text{turnos}}{\text{ciclo}} \right) \qquad Tc = 6 \left(\frac{\text{turnos}}{\text{ciclo}} \right)$$

* **Superficie bajo riego por turno (St)**

La superficie total de riego se divide en dos partes, por la morfología del terreno que presenta alturas diferentes, se utilizará aspersores con un funcionamiento de 3 bares para el área 1 y 1,5 bares para el área 2.

Por cada turno de riego se cubrirá un área de 775,79 m² en el área 1 y de 508,28 m² en el área 2, como se indica en los cálculos.

$$St = 0,077 \left(\frac{\text{ha}}{\text{turno}} \right) \qquad St = 0,051 \left(\frac{\text{ha}}{\text{turno}} \right)$$

* **Dosis de riego total por turno (DTt)**

El volumen de agua requerido para que el sistema trabaje por cada turno es de 19,42 m³ para el área 1 y de 12,72 m³ para el área 2, volumen que, si se dispone, debido a que el reservorio tiene una capacidad de almacenar 31,75 m³ de agua.

$$DTt = 19,42 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{turno}} \right) \qquad DTt = 12,72 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{turno}} \right)$$

Dado que el caudal del pozo de captación no es suficiente para regar toda la superficie de riego en un intervalo de 6 días, se utilizará una fuente externa de agua que aportará un volumen adicional de 6.75 m³ para el área 1, con el objetivo de irrigar 2 turnos por día, y para el área 2 se requiere un volumen adicional de 6.41 m³ para regar 3 turnos por día.

* **Caudal requerido (Qr)**

El caudal requerido para el área 1 es de 11,94 m³/h, mientras que para el área 2 se requiere un caudal de 11,1 m³/h.

$$Qr = 11,94 \left(m^3/h \right)$$

$$Qr = 11,1 \left(m^3/h \right)$$

* **Numero de emisores por turno (N°emi)**

El área 1 posee una superficie de riego mayor al área 2, por lo mismo se requiere de un aspersor con diámetro húmedo mayor y una presión mayor, requiriendo de 8 aspersores de riego por turno, en cuanto al área 2 regará con 15 aspersores por turno, como se muestra en el cálculo.

$$N^{\circ}emi = 8,55 \left(e/turno \right)$$

$$N^{\circ}emi = 15,25 \left(e/turno \right)$$

$$N^{\circ}emi = 8 \left(e/turno \right)$$

$$N^{\circ}emi = 15 \left(e/turno \right)$$

* **Número de emisores por lateral (Nel)**

Se calculó en función de la longitud del terreno en dirección del lateral y el espaciamiento entre aspersores, obteniéndose 4 emisores en el área 1 y 5 emisores en el área 2.

Cabe mencionar que, el lateral con 4 emisores del área 2 es porque la longitud del terreno es de 35 m.

$$Nel = 4$$

$$Nel = 5$$

* **Longitud del lateral (Ll)**

Se considera el espaciamiento del primer aspersor, a la mitad de la separación entre aspersores (De/2): haciendo los cálculos se determinó que el lateral en el área 1 tendrá una longitud de 35 m y el lateral en el área 2 tendrá una longitud de 45 m.

$$Ll = 35 \text{ m}$$

$$Ll = 45 \text{ m}$$

* **Caudal del lateral (Ql)**

El caudal que pasara por los laterales del área 1 es de 1,55 l/s y el caudal del lateral en el área 2 es de 1,01 l/s.

$$Ql = 5588 \left(\frac{l}{h} \right)$$

$$Ql = 3640 \left(\frac{l}{h} \right)$$

$$Ql = 1,55 \left(\frac{l}{s} \right)$$

$$Ql = 1,01 \left(\frac{l}{s} \right)$$

* **Numero de laterales en el área (Nl)**

El número de laterales depende del espaciamiento entre laterales en la línea secundaria, resultando 5 laterales para el área 1, y para el área 2 por su topografía se instalarán 2 lateral por sector, debido a que cada sector tiene un ancho promedio de 22 m.

$$Nl = 5,05$$

$$Nl = 2,2$$

$$Nl = 5 \text{ laterales}$$

$$Nl = 2 \text{ lateral}$$

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

El caudal que circula por la tubería del área 1 es de 7,76 l/s y por la tubería del área 2 es de 2,02 l/s.

$$Qs = 7.76 \text{ l/s}$$

$$Qs = 2,02 \text{ l/s}$$

Hay que decir que los caudales obtenidos circularán cuando se encuentran funcionando todos los laterales existentes en la línea secundaria, pero debido a que, durante el riego el área 1 regara 2 laterales y el área 2 regara con 3 laterales por cada turno, el caudal en la línea secundaria será de 4,65 y 3,03 l/s para el área 1 y 2 respectivamente.

6.3.2. Diseño Hidráulico

6.3.2.1. Diseño del Lateral

* Pérdidas de carga por fricción longitudinal en los laterales

El gradiente hidráulico resultante es de 0,056 en laterales del área 1 y 0,054 en laterales del área 2.

$$J = 0,056$$

$$J = 0,054$$

Utilizando la ecuación de Hazen–William, para tuberías de PVC, se determinó que las pérdidas de carga por fricción en laterales del área 1 en 1,67 m y en laterales del área 2 las pérdidas de carga son de 1,88 m.

$$hf = 1,67 \text{ m}$$

$$hf = 1,88 \text{ m}$$

* Pérdidas de carga por fricción en salidas múltiples

Utilizando el coeficiente de reducción planteada por Christiansen, se determinó las pérdidas de carga en la tubería, de acuerdo al número de salidas en el lateral, resultado que, las pérdidas de carga totales en el área 1 es de 2,48 m y en el área 2 es de 2,11 m, como se observa en la Tabla 10 y 11.

$$hf' = 0,81 \text{ m}$$

$$hf' = 0,91 \text{ m}$$

Tabla 10. Pérdidas de carga en laterales del área 1

Lateral Área 1									
Tubería	Q	L	Ø nominal	Ø int	V	J	hf	F	Hf
	m³/s	m	mm	m	m/s	m/100	m		m
Lateral	0,00155	30	40	0,037	1,41	0,056	1,67	0,485	0,81
Elevador	0,000380	1	25	0,022	0,96	0,050	0,050	1	0,20
Accesorios									1,47
Total									2,48

Tabla 11. Pérdidas de carga en laterales del área 2

Lateral Área 2									
Tubería	Q	L	Ø nominal	Ø int	V	J	hf	F	Hf
	m³/s	m	mm	m	m/s	m/100	m		m
Lateral	0,000808	35	32	0,029	1,191	0,054	1,884	0,485	0,91
Elevador	0,0002	1	25	0,022	0,51	0,015	0,015	1	0,076
accesorios									1,12
Total									2,11

Elaborado por: El autor, 2022

*** Presión en el Lateral**

Presión al origen del lateral

La presión que tiene al origen de un lateral en el área 1 es de 31,71 m y la presión al comienzo de un lateral en el área 2 es de 16,48 m, como se indica a continuación.

$$\frac{P_o}{\gamma} = 31,71 \text{ m}$$

$$\frac{P_o}{\gamma} = 16,48 \text{ m}$$

Presión al final del lateral

La presión resultante al final del lateral es de 30,89 m en el área 1 y de 15,57 m en laterales del área 2.

$$\frac{P_n}{\gamma} = 30,89 \text{ m}$$

$$\frac{P_n}{\gamma} = 15,57 \text{ m}$$

La condición para el de diseño del lateral del riego es que, la diferencia de presión entre el origen y el final del lateral no supere el 20 % de la presión nominal, condición que sí se cumple en el área 1 y 2, como se indica en los cálculos siguientes.

$$0,81 \text{ m} \leq 6,12 \text{ m}$$

$$0,91 \text{ m} \leq 3,06 \text{ m}$$

6.3.2.2. Diseño de la Tubería Principal

*** Pérdidas de carga por fricción longitudinal en la tubería principal**

El gradiente hidráulico resultante es de 0,056 m en laterales del área 1 y 0,025 m en laterales del área 2.

$$J = 0,056 \text{ m}$$

$$J = 0,025 \text{ m}$$

Utilizando la ecuación de Hazen–William, se obtuvo las pérdidas de carga en la tubería principal del área 1 de 5,41 m y en la tubería principal del área 2 las pérdidas de carga son de 1,64 m, como se indica en la Tabla 12 y 13.

$$hf = 5,41 \text{ m}$$

$$hf = 1,64 \text{ m}$$

Tabla 12. Perdidas de carga en la tubería principal del área 1

Tubería principal Área 1									
Tubería	Caudal	L	Ø nominal	Ø int	V	J	hf	F	Hf
	m³/s	m	mm	m	m/s	m/100	m		m
Principal	0,00155	97	40	0,0374	1,4129	0,056	5,409		5,409
Accesorios									0,38
Total									5,79

Elaborado por: El autor, 2022

Tabla 13. perdidas de carga en la tubería principal del área 2

Tubería principal Área 2									
Tubería	Caudal	L	Ø nominal	Ø int	V	J	hf	F	Hf
	m³/s	m	mm	m	m/s	m/100	m		m
Principal	0,00101	65	40	0,0374	0,92	0,025	1,639		1,639
Accesorios									0,17
Total									1,81

Elaborado por: El autor, 2022

6.3.2.3. Diseño de la Tubería Secundaria

*** Pérdidas de carga por fricción longitudinal en las tuberías secundarias**

El gradiente hidráulico resultante es de 0,056 m en la tubería secundaria del área 1 y 0,025 m en la secundaria del área 2.

$$J = 0,056 \text{ m}$$

$$J = 0,025 \text{ m}$$

Utilizando la ecuación de Hazen–William, se obtuvo las pérdidas de carga en la tubería secundaria del área 1 de 4,015 m y en la tubería secundaria del área 2 las pérdidas de carga son de 1,059 m.

$$hf = 4,015 \text{ m}$$

$$hf = 1,059 \text{ m}$$

*** Pérdidas de carga por fricción en tuberías con salidas múltiples**

Las pérdidas de carga en tuberías con salidas múltiples son de 1,83 m en el área 1 y en el área 2 es de 0,67 m, como se observa en la Tabla 14 y 15.

$$hf' = 1,83 \text{ m}$$

$$hf' = 0,67 \text{ m}$$

Tabla 14. Pérdidas de carga en la tubería secundaria del área 1

Tubería secundaria Área 1									
Tubería	Caudal	L	Ø nominal	Ø int	V	J	hf	F	Hf
	m³/s	m	mm	m	m/s	m/100	m		m
Secundaria	0,00155	72	40	0,0374	1,4129	0,056	4,015	0,457	1,83
Accesorios									0,38
Total									2,22

Elaborado por: El autor, 2022

Tabla 15. Pérdidas de carga en la tubería principal del área 2

Tubería secundaria Área 2									
Tubería	Caudal	L	Ø nominal	Ø int	V	J	hf	F	Hf
	m³/s	m	mm	m	m/s	m/100	m		m
Secundaria	0,00101	42	40	0,037	0,920	0,025	1,059	0,639	0,67
Accesorios									0,17
Total									0,85

Elaborado por: El autor, 2022

6.3.2.4. Carga Dinámica Total (CDT).

La CDT para el área 1 es de 41,09 m en su lateral más crítico, por lo que se necesita una altura igual o superior a la mencionada, en cuanto a la CDT del área 2 es de 20,07 m, en el lateral más crítico, como lo podemos visualizar en la Tabla 16, de acuerdo al perfil de elevación del suelo en el Anexo 17, el predio si cuenta con la altura requerida.

Tabla 16. Carga dinámica total para el área 1 y 2

Sector	Sistema	Pérdidas (m)	Pérdida total (m)
Área 1	Laterales	2,48	
	Principal y secundaria	8,01	41,09
	Presión del asp	30,6	
Área 2	Laterales	2,11	
	Principal y secundaria	2,66	20,07
	Presión del asp.	15,30	

Elaborado por: El autor, 2022

6.3.2.5. Selección de la Motobomba.

Se parte del criterio que la motobomba será utilizada para subir el agua desde el pozo ubicado en la parte inferior del predio hasta el reservorio.

* **Altura geométrica de aspiración e impulsión**

La distancia vertical existente entre el eje de la motobomba y el nivel inferior del agua o Altura geométrica de aspiración (H_s), toma un valor de 0,5 m y la altura geométrica de impulsión (H_i), que corresponde al desnivel entre la superficie del agua en el depósito de impulsión y el eje de la motobomba, toma un valor de 41 m, gráficamente se lo visualiza en el Anexo 18.

* **Pérdidas de carga en la tubería de conducción**

La altura de aspiración es de 1 m, debido a su longitud reducida, se planteó como perdidas por conducción el 40 % de la altura de la tubería de aspiración, que

corresponde a 0,40 m. La pérdida de carga en la tubería de impulsión es de 2,61 m, como se indica en la Tabla 17.

Tabla 17. Pérdidas de carga por aspiración e impulsión, utilizando el método de Hazen-Williams

Tubería	Q	L	Ø nominal	Ø interno	V	J	hf
	m ³ /s	m	mm	m	m/s	m/100	m
Impulsión	0,0029	143,50	63	0,06	1,04	0,018	2,61
Aspiración (40 %)		1					0,40
Hf _{total}							3,01

Elaborado por: El autor, 2022

*** Altura manométrica total**

La altura manométrica total en la tubería de aspiración e impulsión es de 44,51 m, presión que la motobomba seleccionada debe vencer para elevar el agua desde el pozo de captación hasta el reservorio en la parte alta del predio.

$$H_t = 44,51 \text{ m}$$

*** Potencia requerida de la motobomba**

El caudal de bombeo es de 2,94 l/s, tomando en consideración que el reservorio tiene un volumen de 31,77 m³, y se lo quiere llenar en 3 horas.

$$Q_b = 2,94 \text{ l/s}$$

La potencia de la motobomba que se necesita para subir el agua hasta el reservorio es de 3,23 hp, con una eficiencia de la motobomba del 54 %.

$$P_B = 3,23 \text{ hp}$$

la potencia de la motobomba expresada en potencia eléctrica es de 2,33 Kw de energía.

$$P_m = 2,33 \text{ Kw}$$

*** Velocidad específica**

De acuerdo a la velocidad específica de 487,95 es recomendable usar una motobomba tipo centrífuga, como se observa en el Anexo 20. Se seleccionó una motobomba centrífuga de doble rodete (ver Anexo 19), que proporciona una potencia de 4 HP, con un caudal de 12 m³/h y una altura de elevación de 46,5 m, suficiente para elevar el agua de riego hasta el reservorio ubicada en la parte superior del predio, a una altura de 41 m.

$$V_{esp} = 487,95$$

6.3.3. Lista de Materiales y presupuesto estimado de instalación

El listado de materiales y accesorios necesarios para la instalación de laterales del área 1 y 2 se puede ver en la Tabla 18 y 19.

Tabla 18. Materiales y accesorios requeridos para instalar los laterales del área 1

COD	DESCRIPCION	U	CANT.	P.U.	P. T
L1	Manguera HDPE negra, Ø 40 mm x 0,8 MPa (rollo de 100 m)	m	150	1,05	157,5
A1	Aspersor de 3 bares, Q=0,38 l/s, Ø húmedo= 22 m, boquilla de 4,00 mm + 2,50 mm	U	20	4,98	99,6
A2	Cupla reducción de PVC de 25 a 15 mm	U	20	0,43	8,6
A3	Tubería de PVC, Ø 25 mm x 1,25 MPa (tubo de 6 m)	m	20	1,93	38,6
A4	TEE PVC de 25 mm, E/C	U	20	1,99	39,8
A5	Cupla reducción PVC de 40 a 25 mm, E/C	U	40	3	120
A6	Adaptador PVC 40 mm x 1", PN 16 bar, EC-RR	U	45	0,53	23,85
A7	Abrazadera sin fin 1-9/16 a 2-1/2 "	U	40	1,9	76
F2	Cortadora para tubería de PVC, Ø =40 mm	U	10	5	50
TOTAL					613,95

Elaborado por: El autor, 2022

Nota: Esquema gráfico en el Anexo 14 y 15.

Tabla 19. Materiales y accesorios requeridos para instalar los laterales del área 2

COD	DESSCRIPCION	U	CANT.	P.U.	P. T
L2	Manguera HDPE negra, $\varnothing = 32$ mm x 1,0 MPa (rollo de 100 m)	m	253	0,97	245,41
A1	Aspersor de 1,5 bares, Q=0,20 l/s, \varnothing húmedo= 18 m, boquilla de 3,5 mm + 1,8 mm	U	28	4,98	139,44
A2	Cupla reducción de PVC de 25 a 15 mm	U	28	0,43	12,04
A3	Tubería de PVC, $\varnothing = 25$ mm x 1,25 MPa (tubo de 6 m)	m	28	1,93	54,04
A4	TEE de PVC de 25 mm, E/C	U	28	1,99	55,72
A5	Cupla reducción PVC de 32 a 25 mm, E/C	U	56	2,37	132,72
A6	Adaptador PVC 32 mm x 1", PN 16 bar, EC-RR	U	62	0,5	31
A7	Abrazadera sin fin 1-9/16 a 2-1/2 "	U	62	1,9	117,8
F2	Cortadora para tubería de PVC, $\varnothing = 32$ mm	U	6	0,75	4,5
F4	Collarín HDPE negro, $\varnothing = 40$ mm con salida a 32 mm	U	2	1,34	2,68
TOTAL					795.35

Elaborado por: El autor, 2022

El listado de materiales y accesorios necesarios para instalar la tubería principal y secundaria se puede ver en la Tabla 20.

Tabla 20. Materiales y accesorios requeridos para instalar la tubería principal y secundaria del área 1 y 2

COD	DESSCRIPCION	U	CANT.	P.U.	P. T
Tp	Manguera HDPE negra, $\varnothing = 40$ mm x 0,8 MPa (rollo de 100 m)	m	90	1,8	162
S1	Manguera HDPE negra, $\varnothing = 40$ mm x 0,8 MPa (rollo de 100 m)	m	81	1,05	85,05
S2	Manguera HDPE negra, $\varnothing = 40$ mm x 0,8 MPa (rollo de 100 m)	m	45	1,05	47,25
F1	TEE de PVC, $\varnothing = 40$ mm, E/C	U	5	2	10
F3	TEE de PVC, $\varnothing = 40$ mm, E/C	U	1	2	2
F4	Collarín HDPE negro, $\varnothing = 40$ mm con salida a 32 mm	U	4	1,34	5,36
C1	Abrazadera sin fin 1-9/16 a 2-1/2 "	U	2	1,9	3,8
C2	Adaptador PVC, $\varnothing = 40$ mm x 1", PN 16 bar, EC-RR	U	2	0,53	1,06
C3	Neplo corrido de PVC de 40 mm	U	5	0,98	4,9
C4	Codo de PVC, $\varnothing = 40$ mm x 90°	U	4	1,8	7,2
C5	Tubería de PVC, $\varnothing = 40$ mm x 0,8 MPa (tubo de 6 m)	U	1	4,65	4,64

COD	DESSCRIPCION	U	CANT.	P.U.	P. T
C6	Válvula esférica PVC rosca hembra, Ø =40 mm, PN 10 bar	U	1	15	15
C7	Filtro de disco con entrada y salida macho de, Ø =40 mm	U	1	25,18	25,18
C8	Manómetro de 0 a 100 psi	U	1	48,3	48,3
C9	Válvula de aire	U	1	32,81	32,81
D1	Abrazadera sin fin 1-9/16 a 2-1/2 "	U	2	1,9	3,8
D2	Adaptador PVC 40 mm x 1", PN 16 bar, EC-RR	U	2	0,53	1,6
D3	Neplo corrido de PVC de 40 mm	U	5	0,98	4,9
D4	Codo de PVC , Ø = 40 mmx90°, E/C	U	4	2	8
D5	Válvula esférica PVC rosca hembra, Ø =40 mm, PN 10 bar	U	1	14,23	14,23
D6	Válvula de aire	U	1	32,81	32,81
TOTAL					519,89

Elaborado por: El autor, 2022

Los materiales y equipos necesarios para instalar el equipo de bombeo se detallan en la Tabla 21.

Tabla 21. Materiales y equipos de bombeo

COD	DESSCRIPCION	U	CANT.	P.U.	P. T
B1	Válvula de pie con canastilla, Ø =63 mm	U	2	27,46	54,92
B2	Tubería de PVC, Ø =63 mm x 0,63 MPa (tubo de 6 m)	U	1	11,58	12
B3	Codo de PVC, Ø =63 mmx90°	U	2	3,5	7
B4	Unión con rosca hembra, Ø =63 mm	U	1	2,05	2,05
B5	Cupla reducción de PVC de 63 mm a 50 mm	U	1	0,97	0,97
B6	Neplo de cintura de PVC de 50 mm	U	1	0,98	0,98
B7	Neplo de cintura de PVC de 40 mm	U	1	0,77	0,77
B8	Cupla reducción de PVC de 63 mm a 40 mm	U	1	5	5
B9	Neplo de cintura de PVC de 63 mm	U	2	0,98	1,96
B10	Válvula de retención	U	1	16	16
B11	Válvula reguladora de presión	U	1	186,58	186,58
B12	Adaptador PVC 63 mm x 2", PN 16 bar, EC-RR	U	1	0,77	0,77
B13	Abrazadera sin fin 1-9/16 a 2-1/2 "	U	1	1,9	1,9
B14	Manguera HDPE negra, Ø =63mm x 0,63 MPa (rollo de 100 m)	m	150	1,8	270

COD	DESSCRIPCIÓN	U	CANT.	P.U.	P. T
B15	Motobomba hidráulica monofásica, 4 HP, Q= 12 m ³ /h, 46,5 m de elevación.	U	1	240	240
B16	Cimentación	m2	1	10	10
B17	Válvula de aire de triple acción	U	1	22	22
TOTAL					832,9

Nota: Esquema grafico en el Anexo 21.

7. Discusión

El análisis físico del suelo arrojó que contiene 38 % de arena, 22,9 % de arcilla y 39,1 % de limo, clasificándose como un suelo franco, de acuerdo a Villarroel (1988) son adecuados para la agricultura, presentan muy buena capacidad de retención de humedad y condiciones físicas favorables. Estos resultados se pueden considerar como similares al trabajo realizado por Salinas (2017), en la parroquia Cumbe del cantón Saraguro para el cultivo de frejol, mediante el método del lisímetro volumétrico, ahí se observan resultados con 46.4 % de arena (Ao), 33,6 % de limo (Lo) y 20 % de arcilla (Ac), clasificándolo como un suelo franco, además se determinó una densidad aparente de 1.4 g/cm^3 lo que significa que es suelo apto para el desarrollo de las raíces de las plantas y para la agricultura. Por otra parte, Valarezo et al. (2020), en su trabajo realizado en el sector de Zalapa, determinó que el tipo de suelo es de textura franco arcillosa, clasificado como suelo pesado, permitiendo retener grandes cantidades de agua por ser de textura más fina.

La velocidad de infiltración básica del suelo fue de 17 mm/h, siendo mayor a la precipitación horaria del sistema de riego (7,76 mm/h área 1 y 7,28 mm/h área 2 respectivamente), comprobando la condición propuesta por Kostiakov. Este valor lo justifica Brouwer et al. (1988), donde mencionan que, en suelos de textura franco, el rango apropiado para la velocidad de infiltración básica es de 10 a 20 mm/h. Mientras que Ayo et al. (2018), describe como suelo moderado, cuando la tasa de infiltración está en un rango de 13 a 25 mm/h, pertenecientes a suelos francos, franco arenoso y franco limoso; por otra parte Duque (2009), en su trabajo realizado en la hoya de Loja (Determinación experimental del “número de la curva” para calcular la escorrentía en cuencas medianas y pequeñas a partir de datos de precipitación y otros parámetros), obtiene una velocidad de infiltración de 4 mm/h sobre un suelo de textura franco arcillosa (FoAc), esto porque las partículas de suelo son de menor

diámetro, dificultando el paso del agua por un lapso de tiempo mayor a suelos francos.

El requerimiento hídrico para el cultivo de brócoli determinado en el estudio va de 2,20 a 3,55 mm/día, siendo este último para la etapa intermedia, en donde el cultivo produce la máxima florescencia de la pella. Con respecto a esto, en el trabajo realizado por Luna (2017), indica que la etapa fenológica más extensa es donde el cultivo demanda de mayor cantidad de agua, correspondiendo a la fase intermedia con 180 días de duración, requiriendo una lámina máxima de 36,6 mm con un intervalo de riego de 6 días y un tiempo de riego de 6 horas por turno. En el caso de Erreyes (2021), el requerimiento hídrico máximo en suelo franco arenoso fue de 2,33 mm/día, para el mes de agosto, donde utilizó una lámina de riego de 28,68 mm, para satisfacer la escasez de agua, en un tiempo de riego de 6 horas por turno.

Para el área 1 de riego se eligió un emisor D-NET 8550 que arroja un caudal de 1397 l/h, cubriendo un diámetro de humedecimiento de 22 m, traslapados entre sí de forma rectangular, el mismo funcionara por 3,22 horas para satisfacer el requerimiento hídrico del cultivo en su etapa más crítica (3,55 mm/día). Para el área 2 se escogió un emisor con un caudal de 728 l/h, que cubre un diámetro húmedo de 18 m, este trabajara por un lapso de 3,44 horas cumpliendo con el requerimiento hídrico correspondiente, estos dos tienen una eficiencia del 85 % considerando que la velocidad del viento en la zona es menor a 2 m/s. Lo mismo lo confirma Génova et al. (2015), donde menciona que la eficiencia del riego es del 85 % cuando el marco de riego es del 60 % del diámetro húmedo entre emisores y la velocidad del viento es menor o igual a 2 m/s, caracterizando al aspersor de buena calidad.

El sistema de riego sufre pérdidas de carga por conducción a causa de la rugosidad del material que se utilice (150 para tubería de PVC) y por accesorios de conexión, estas pérdidas de carga son de 10,49 y 4,77 m en el área 1 y 2 respectivamente, que en conjunto con la presión nominal del aspersor no deben

sobrepasar el valor de la altura manométrica total (41,5 y 20,5 m en el área 1 y 2 respectivamente), dado que si la carga dinámica total fuese mayor, los emisores no regarían con la misma eficiencia por falta de presión. Rovelo (2019) en su estudio realizado “Riego por aspersión a baja presión en coberturas totales y máquinas de riego”, dice que, entre menos presión, el riego no tiene el alcance esperado y puede gotear o en peores casos los emisores no se abrirán para que el agua salga a los cultivo, por lo tanto habrá zonas en el cultivo que no se regarán adecuadamente.

En el diseño del lateral, la diferencia de presiones entre el origen y el final del lateral no excede el 20 % de la presión nominal del aspensor, cumpliéndose la condicionante propuesta, por su parte Génova et al. (2015), recomiendan que en el diseño de equipos se acepta una diferencia de presión del 20 % entre el primer y último emisor de la línea de riego, el cual produce una diferencia del caudal distribuido del 10 %; de igual manera Tarjuelo (2005), menciona que si la máxima diferencia de presión entre los distintos laterales de riego supera el 20 % de la presión de trabajo, produce una variación de los caudales del 10 %, por lo que tal variación de presión es considerada como el límite, dado el caso recomienda instalar reguladores de presión en la cabecera del sector, en el origen de las tuberías cuando estas están en pendiente, o, también, en cada aspensor o difusor, cuando la topografía es irregular y las tuberías son largas.

Para subir el agua hasta el reservorio se escogió una motobomba centrífuga con una eficiencia de funcionamiento del 54 %, que proporciona una potencia de 4 HP, un caudal de 12 m³/h y una altura de elevación de 46,5 m. De acuerdo con Vargas (2015), una motobomba de tipo centrífuga con una potencia de 3 a 5 HP, tiene un rango de elevación de 35 a 60 m, además un caudal de 5 a 20 m³/h, caracterizando estos equipos apropiados para elevar el agua a grandes alturas de acuerdo a su potencia de funcionamiento.

8. Conclusiones

- * El predio de estudio se encuentra en las faldas del cerro Villonaco, presenta un relieve ondulado conformado por Inceptisoles y Entisoles, que son suelos con un perfil poco desarrollado.
- * El suelo del predio Lote Bonito tiene una textura franca, además las propiedades hidrofísicas son: CC de 28,64 %, PMP de 14,85 %, AA de 11,73 % y Da de 1,28 g/cm³, que lo clasifica como suelo de clase II, apropiadas para producción de cultivos de ciclo corto por su capacidad de retener agua.
- * El requerimiento hídrico para el cultivo de brócoli en su etapa más crítica es de 3,55 mm/día, para satisfacer esta demanda se calculó una frecuencia de riego de 6 días, con un tiempo de riego por turno de 3,22 horas para el área 1 y 3,44 horas para el área 2, suministrando una lámina de riego de 25,03 mm, con un aspersor de impacto, misma que proporciona una intensidad de precipitación de 7,76 mm/h (área 1) y 7,28 mm/h (área 2).
- * En el área 1 se utilizará dos laterales de riego con 8 aspersores por turno, regando una superficie de 1 538,59 m², mientras que, en el área 2 se utilizará tres laterales de riego con 15 aspersores por turno, regando una superficie de 1 524,84 m².
- * El diseño hidráulico determinó, que el sistema de riego operara en el área 1 con tubería de PVC de 40 mm para los conductos principal, secundaria y laterales de riego, con pérdidas de carga por fricción y accesorios de 10,48 m, en cuanto al área 2 se determinó tubería de PVC de 40 mm para la instalación principal y secundaria, y tubería de 32 mm para los laterales de riego, con pérdidas de carga por fricción y accesorios de 4,77 m.
- * El costo de instalación del sistema de riego en el predio es de \$ 2 762, inversión que se espera recuperar en un lapso de 1 año.

9. Recomendaciones

- * Para obtener el coeficiente de cultivo K_c es preferible utilizar el método del lisímetro que proporciona resultados más confiables, porque los valores propuestos por la FAO no corresponden a la región donde se realiza el estudio.
- * Es recomendable que la instalación de la red de tuberías se lo haga por lo menos a 50 cm de profundidad, esto con la finalidad de evitar daños en las mismas, por el laboreo con objetos filosos y/o por el paso de maquinaria agrícola.
- * Capacitar a la persona que se encargará del manejo del equipo de bombeo, para evitar riesgos de daño por mal uso de la motobomba, de igual manera la ubicación de la motobomba debe estar en un lugar cubierto para proteger el equipo y tener un mayor tiempo de vida útil.

10. Bibliografía

- Ayo, V., Betancourt, A., Castañeda, R., Escudero, W., Morocho, J., Palma, C., Yagual, J., Yagual, V., & Yepéz, B. (2018). *Hidrología infiltración básica* [Ensayo de laboratorio].
- Burbano, L. L., Puentes, G., & Guerrero, H. B. (1999). IMPORTANCIA DE LOS PARAMETROS HIDROFISICOS DEL SUELO Y REQUERIMIENTOS HIDRICOS DEL CULTIVO EN EL DISEÑO DE UN PROYECTO DE RIEGO POR ASPERSIO LIVIANA. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 16(1 y 2), Article 1 y 2.
<https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1105>
- Camargo, C., García, C., Duarte, J., Rincón, A., Camargo, C., García, C., Duarte, J., & Rincón, A. (2018). Modelo estadístico para la caracterización y optimización en bombas periféricas. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(1), 18-39.
<https://doi.org/10.14482/inde.36.1.10939>
- Choque, C. (2011). *CLASIFICACIÓN DE TIERRAS SEGÚN SU CAPACIDAD DE USO E ÍNDICE DE FERTILIDAD, EN EL MUNICIPIO DE COPACABANA (LA PAZ)*. 199.
- Chow, J. (2006). Metodo facil de riego por goteo. *yumpu.com*.
<https://www.yumpu.com/es/document/view/14784519/metodo-facil-de-riego-por-goteo-mefaderg2-elestelianocom>
- Cisneros, R. (2003). *Riego y Drenaje.pdf*.
<http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego%20y%20Drenaje.pdf>
- CNA. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento MAPAS*. CONAGUA SEMARNAT.

- Cucho, E. (2018). Diseño hidráulico del sistema de riego tecnificado en las áreas verdes del condominio el nuevo rancho, distrito de Miraflores, Lima- Lima. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/8861>
- Delgado, G. (2012). *DETERMINACIÓN DE LA LÁMINA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE LA ALBAHACA GENOVESA (Ocimum basilicum Genovese.) A PARTIR DE LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE*. [Tesis, UNIVERSIDAD DEL VALLE]. <https://docplayer.es/40436545-Determinacion-de-la-lamina-de-riego-para-el-cultivo-de-la-albahaca-genovesa-ocimum-basilicum-genovese-a-partir-de-la-variacion-del-coeficiente.html>
- Duque, L. (2009). *DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA*. [Tesis de grado, Universidad Técnica Particular de Loja].
<https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1423/3/Tesis%20Luis.pdf>
- Erreyes, E. A. E. (2021). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y CULTIVOS LOCALES EN UN PREDIO UBICADO EN LA PARROQUIA SAN ANTONIO DE CUMBE, CANTÓN SARAGURO, LOJA*. 111.
- Espinosa, J. M. B. (2015). *Preparación del terreno para instalación de infraestructuras y plantación de frutales*. Editorial Elearning, S.L.
- FAO. (2001). *Manual de Riego Parcelario*.
http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recnat/pdf/MR_cap1.PDF

- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Fernández, R., Andalucía, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Andalucía, & Consejería de Agricultura y Pesca. (2010). *Riego por aspersión*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca.
- Fernández, R., Oyonarte, N., García, J., Yruela, M. del C., Milla, Mercedes, Avila, R., & Gavilán, P. (2010). *Riego por aspersión*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca.
- Fierro, D. (2013). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de brócoli (Brassica oleracea var. Italica) híbrido Avenger para mercado de exportación en Cunchibamba, provincia de Tungurahua*. 85.
- García, L. (2017). *METODOLOGÍAS DE CAMPO PARA DETERMINAR PROFUNDIDAD, DENSIDAD APARENTE, MATERIA ORGANICA, INFILTRACIÓN DEL AGUA, TEXTURA Y pH EN EL SUELO*. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf>
- García, M., & Puppo, L. (2015). Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) para el diseño de equipos de riego en el Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 19(1), 122-130.
- Gavidia, D. (2015). *Determinantes y efectos del riego tecnificado: Un análisis económico para la sierra norte de La Libertad*. https://cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones/cies_infome_final_a1-t2-pb-lalib.pdf
- Génova, L., Andreau, R., Etcheverry, M., Etchevers, P., Chale, W., Calvo, L., & Ramos, F. (2015). *Riego por aspersión*.

https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/15625/mod_resource/content/1/unidad%208%20aspersion.pdf

Gomez, C. (2012). *EFEECTO AGRONÓMICO DE DOS VARIEDADES DE BRÓCOLI (Brassica oleraceae L.) CON LA INTERACCIÓN DE DOS DENSIDADES POBLACIONALES DE LOMBRIZ CALIFORNIANA (Eisenia foetida)*. 149.

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* [Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniera Agrícola]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23904/1/Maribel%20Andreina%20Guam%C3%A1n%20Zhingre.pdf>

INEC. 2010. *Censo de población y vivienda 2010*, Fundación Peralta

Intagri. (2015). *Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas*. 5.

Intagri. (2019). *Diseño Agronómico del Sistema de Riego por Goteo*. <file:///D:/Usuario/Downloads/32.%20Dise%C3%B1o%20Agronomico%20de%20Sistemas%20de%20Riego%20por%20Goteo.pdf>

Jiménez. (2017a). *Diseño Agronómico e hidráulico de sistemas de riego presurizado*. <https://www.hidraulicafacil.com/2017/05/disenio-hidraulico-de-sistemas-de-riego.html>

Jiménez. (2017b). *Pérdidas de carga localizadas o en accesorios*. <https://www.hidraulicafacil.com/2017/07/perdida-de-carga-localizada-o-en.html>

- Jiménez. (2021). *Pérdida de carga por fricción en «Tuberías con salidas múltiples»*. <https://www.hidraulicafacil.com/2021/03/perdida-de-carga-por-friccion-en.html>
- Luna, A. (2017). *Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema la era, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG)* [Tesis de grado]. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.
- MAGAP. (2013). *GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1:25.000*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA7/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/LOJA/LOJA/IEE/MEMORIAS_TECNICAS/mt_loja_clima_hidrologia.pdf
- Ortiz, R., & Chile, M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra*, 7(1), 001-010. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1450>
- Peralta, J. M., & Simpfendorfer, C. (2001). *Riego por aspersión*. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/40180/NR26419.pdf?sequence=1>
- PRESSMAN. (s. f.). *Perdidas de carga en tuberías*. Recuperado 22 de julio de 2022, de <http://www.eepm.es/wp-content/uploads/2018/04/PRESSMAN-Pe%CC%81rdida-de-Carga-en-Tuberi%CC%81as.pdf>
- Ramón, R. (2021). Bombas para riego a presión. *DISEÑO HIDRAULICO*.
- Rovelo, C. O. R. (2019). *Riego por aspersión a baja presión en coberturas totales y máquinas de riego* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Zaragoza]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=257774>

Rucks, García, Kaplán, Ponce de león, & Hill. (2004). *Propiedades físicas del suelo*.

<http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdf>

Salinas, J. (2017). *DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL FRÉJOL (Phaseolus vulgaris L.), MEDIANTE EL LISÍMETRO VOLUMÉTRICO EN LA PARROQUIA SAN ANTONIO DE CUMBE DEL CANTÓN SARAGURO* [Tesis de grado]. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

Shaxson, F., & Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal El significado de la porosidad del suelo* [BOLETÍN DE SUELOS DE LA FAO 79]. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN.
<https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s00.htm#Contents>

Souza, A. P. de, Pereira, J. B. A., Silva, L. D. B. da, Guerra, J. G. M., & Carvalho, D. F. de. (2011). Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33, 15-22.
<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.5527>

Tarjuelo, J. (2005a). *EL RIEGO POR ASPERSIÓN*.
https://ruralcat.gencat.cat/migracio_resources/633281_tarjuelo.pdf

Tarjuelo, J. (2005b). *EL RIEGO POR ASPERSIÓN*.
https://ruralcat.gencat.cat/migracio_resources/633281_tarjuelo.pdf

Valarezo, L., Valarezo, C., & Mancino, M. (2020). Producción Agropecuaria Sostenible en Suelos Arcillosos del Piso Templado Andino del Sur del Ecuador-Caso Sistema de Riego Santiago. *Producción agropecuaria*.

<https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/2021-01/Produccion%20Agropecuaria%20Sostenible%20en%20Suelos%20Arcillosos%20del%20Piso%20Temperado%20Andino%20del%20Sur%20del%20Ecuador.pdf>

Vargas, S. (2015). *ESTUDIO DEL FENÓMENO DE LA CAVITACIÓN EN UNA BOMBA CENTRÍFUGA DE 1 HP Y SU INFLUENCIA EN LOS PARÁMETROS DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA*. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/9352/1/Tesis%20I.%20M.%20236%20-%20Vargas%20Badillo%20Santiago%20Fabi%20n.pdf>

Villarroel, J. (1988). *MANUAL PRÁCTICO PARA LA INTERPRETACIÓN del ANÁLISIS DE SUELOS EN LABORATORIOS* (Vol. 1-serie técnica N° 10).

Zamora, E. (2016). *EL CULTIVO DE BRÓCOLI*. <http://www.dagus.uson.mx/Zamora/BROCOLI-DAG-HORT-010.pdf>

11. Anexos

Anexo 1. Toma de muestras no disturbadas



Imagen 1: toma de muestras de suelo con un barreno

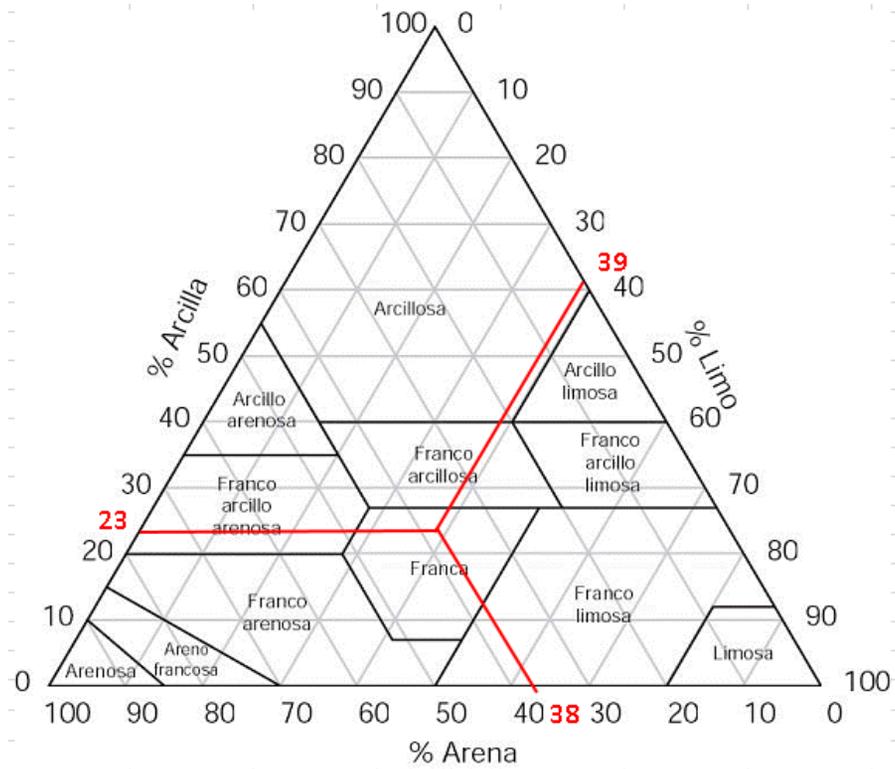


Imagen 2: Análisis de la textura del suelo en el laboratorio



Imagen 3: perfil del suelo a 1 m de profundidad

Anexo 2. Triangulo textura del USDA para determinar el tipo de suelo



Anexo 3. Velocidad de infiltración del suelo

Infiltración acumulada

$$I_{acum} = K * T^N \quad \text{Ecuación potencial negativa}$$

$$K = 0,5201N = 0,5751$$

Infiltración instantánea

$$I_{inst} = k * T^n \quad \text{Ecuación potencial negativa}$$

$$k = 0,5751 \text{ cm/min} \quad k = K * (n + 1)$$

$$n = 0,5751 \quad n = N - 1$$

Infiltración básica

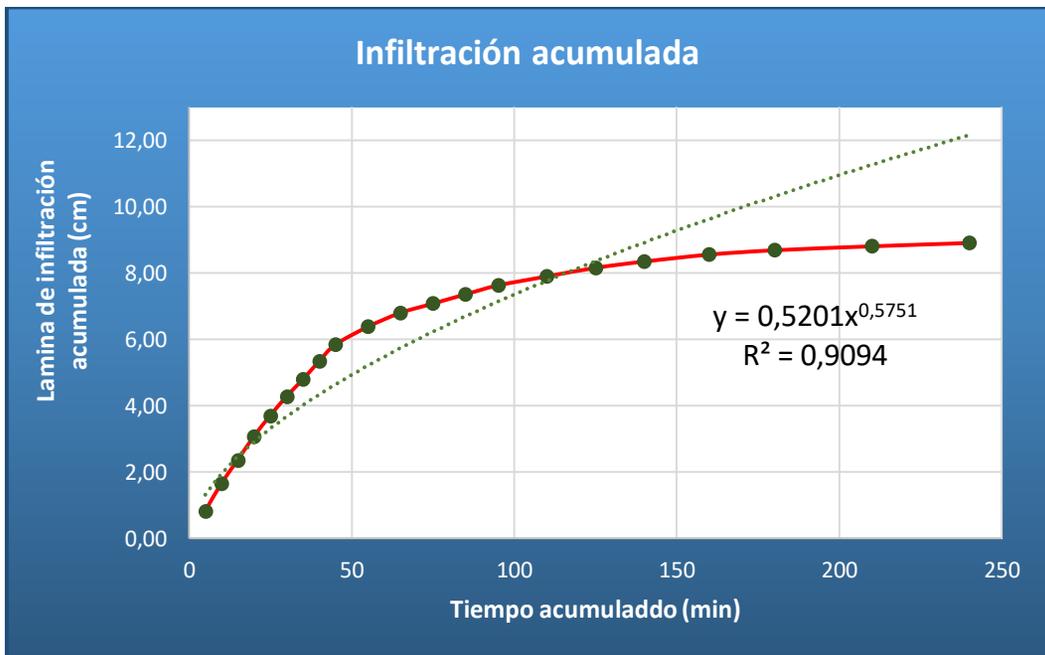
$$I_{bas} = a(-600 * b)^b = 0,028$$

Tiempo base

$$T_{ba} (h) = -10 * b = 4,25$$

$$I_{as} = 0,028 \text{ cm/min}$$

$$I_{bas} = 17,04 \text{ mm/h}$$

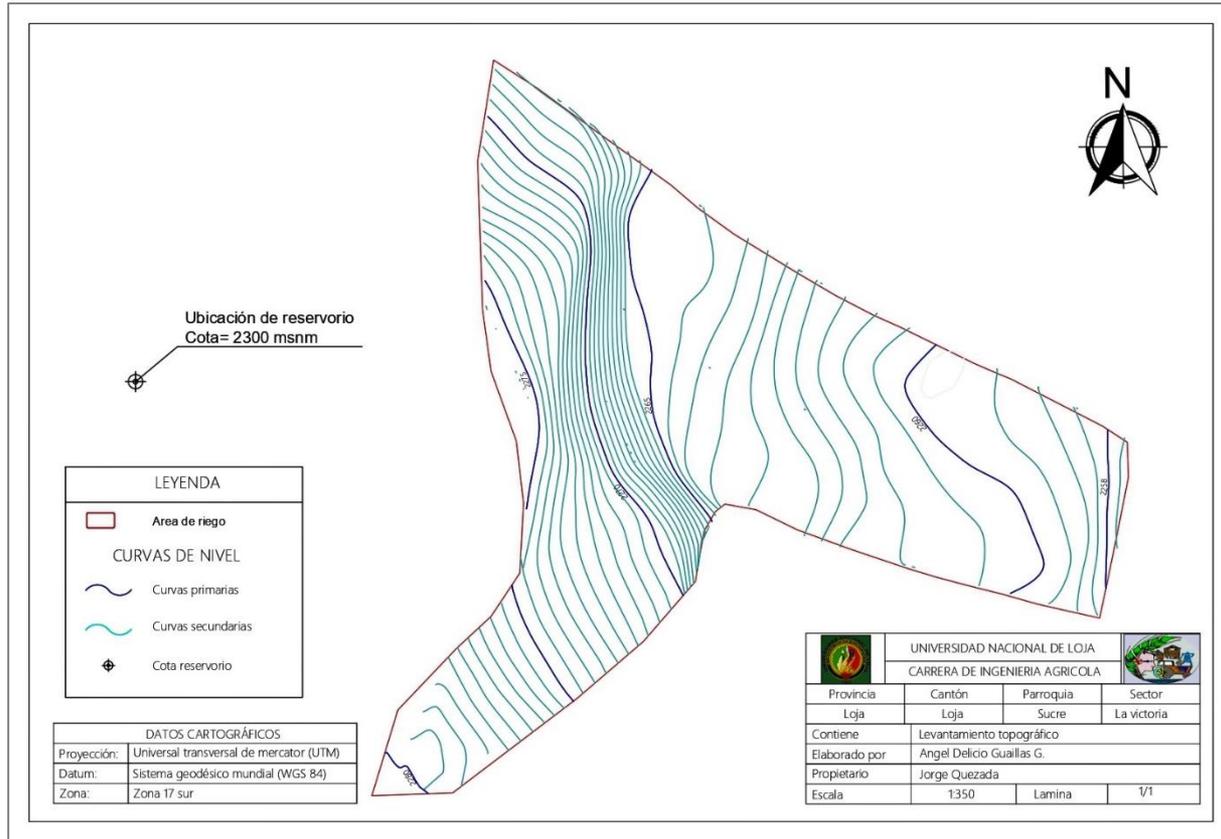


Anexo 4. Resultados de prueba de infiltración básica

PRUEBA DE INFILTRACION BASICA					
Nro. Datos	Tiempo (min)	T. Acum (min)	Lámina de I (cm)	I. Acum (cm)	VI Inst. (cm/min)
1	5	5	0.82	0.82	0.15
2	5	10	0.84	1.66	0.11
3	5	15	0.70	2.36	0.09
4	5	20	0.72	3.08	0.08
5	5	25	0.62	3.7	0.08
6	5	30	0.58	4.28	0.07
7	5	35	0.51	4.79	0.07
8	5	40	0.55	5.34	0.06
9	5	45	0.50	5.84	0.06
10	10	55	0.54	6.38	0.05
11	10	65	0.42	6.8	0.05
12	10	75	0.28	7.08	0.05
13	10	85	0.28	7.36	0.05
14	10	95	0.27	7.63	0.04
15	15	110	0.27	7.9	0.04
16	15	125	0.26	8.16	0.04
17	15	140	0.19	8.35	0.04
18	20	160	0.21	8.56	0.03
19	20	180	0.13	8.69	0.03
20	30	210	0.12	8.81	0.03
21	30	240	0.10	8.91	0.03

Fuente: El Autor, 2022

Anexo 5. Levantamiento topográfico



Anexo 6. Criterios de clasificación climática

Por temperatura	
Muy frío	Temperatura media anual inferior a 0°C
Frío	Temperatura media anual entre 0 y 10°C
Templado	Temperatura media anual entre 10 y 20°C
Cálido	Temperatura media anual entre 20 y 25 °C
Muy cálido	Temperatura media anual superior a 25°C
Por precipitación	
Desértico	Precipitación anual inferior a 250 mm
Árido	Precipitación anual entre 250 y 500 mm
Moderadamente lluvioso	Precipitación anual entre 500 y 2000 mm
Excesivamente lluvioso	Precipitación anual superior a 2000 mm

Fuente: IGP, 2016

Anexo 7. Datos meteorológicos de la estación "La Argelia"

Meses	T. media	Precipitación	V. viento	H. relativa
	°C	mm	m/s	
Enero	16,70	94,70	0,42	78,78
Febrero	16,76	135,74	0,40	78,27
Marzo	17,06	148	0,38	77,26
Abril	17,08	103	0,39	76,88
Mayo	16,82	63,17	0,50	76,04
Junio	16,18	62,47	0,74	74,99
Julio	15,6	49,0	0,84	73,48
Agosto	15,74	42,4	0,90	70,78
Septiembre	16,58	40,3	0,69	71,83
Octubre	17,10	67,93	0,46	73,19
Noviembre	17,08	78,90	0,49	74,04
Diciembre	17,19	99,12	0,40	75,51

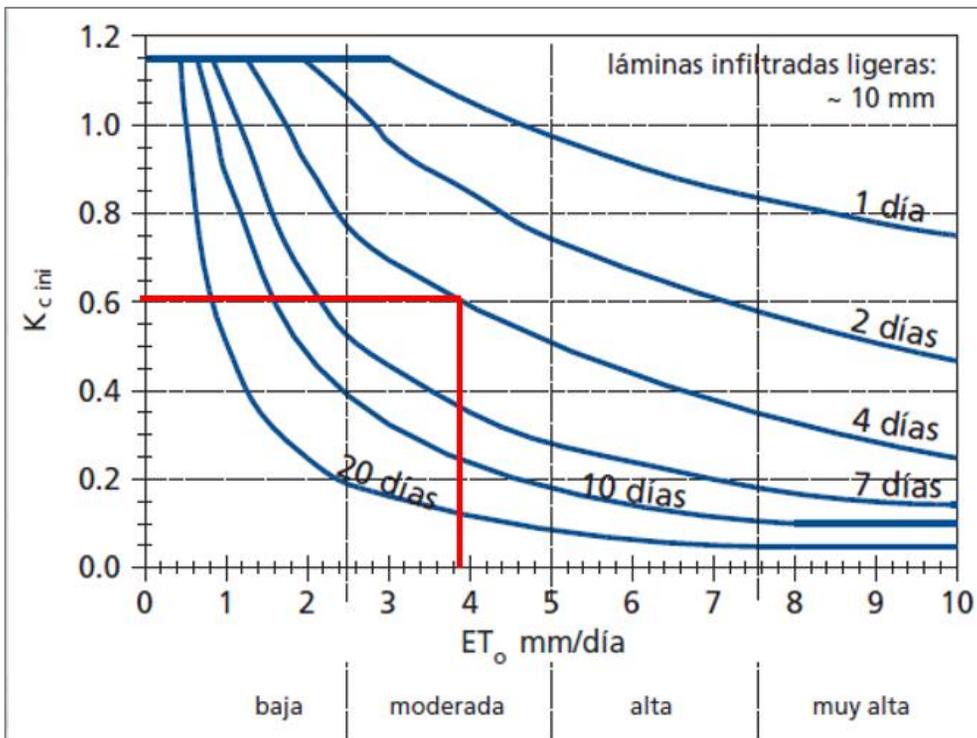
Fuente: Anuarios meteorológicos de la estación La Argelia, 1990-2012.

Anexo 8. Coeficiente único del cultivo K_c propuesto por la FAO

Cultivo	K_c ini	K_c med	K_c fin	Altura max (m)
Brócoli	0,6	1,05	0,95	0,3

Fuente: FAO, 2006

Anexo 9. K_c del cultivo determinado por constantes gráficas



Fuente: FAO, 2006

Anexo 10. Especificaciones del aspersor



D-NET™ 8550

ASPERSOR DE IMPACTO CON BRAZO 3D

APLICACIONES

Para riego, germinación y/o enfriamiento de hortalizas, forrajes, viveros y otros cultivos de campo abierto y frutales.

BENEFICIOS Y CARACTERÍSTICAS

Más y mejores rendimientos

- El D-Net™ 8550 proporciona una distribución de agua altamente eficiente gracias al exclusivo brazo tridimensional que asegura la máxima uniformidad de riego en el mercado, esto en relación a su caudal y espaciamiento de instalación.
- El D-Net™ 8550 proporciona la máxima eficiencia en el uso del agua de riego y nutrientes en el cultivo.

Ahorro en mano de obra y en mantenimiento

- Más robusto
- El D-Net™ 8550 tiene un diseño especial que hace que el aspersor sea sumamente resistente, asegurando un excepcional desempeño durante una larga vida útil.
- Prolongada vida útil del producto
- El D-Net™ 8550 está hecho de materiales estabilizados contra los rayos UV, y es duradero en presencia de todas las condiciones climáticas y los químicos comúnmente utilizados en aplicaciones agrícolas.
- Instalación flexible
- Se puede instalar en conjuntos sólidos o en soportes de campo móviles.
- Fácil mantenimiento
- Una llave especialmente diseñada con el fin de permitir la fácil limpieza de las boquillas.

ESCÁNEA ESTE CÓDIGO CON TU SMARTPHONE PARA VER EL VIDEO



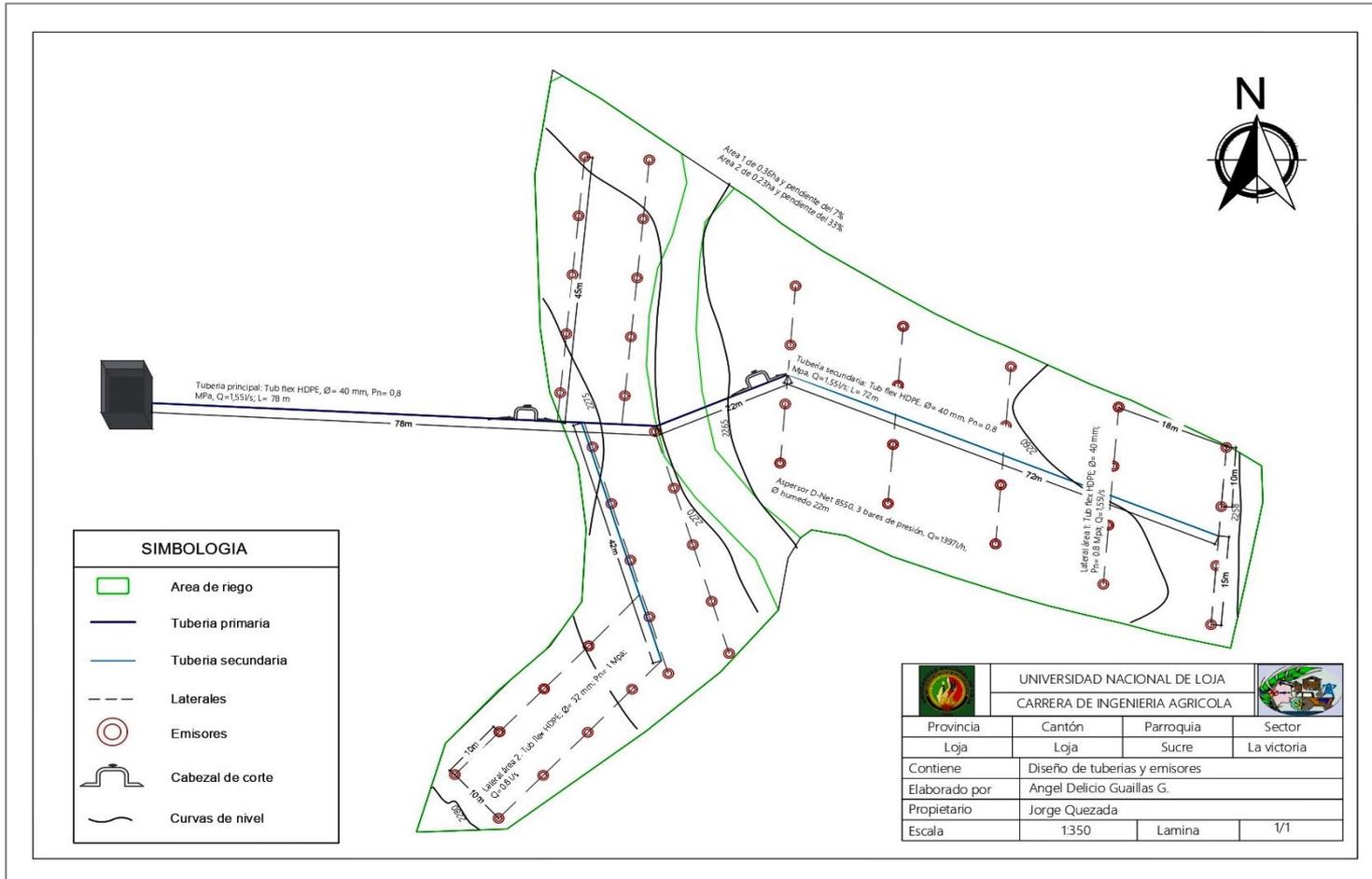
ESPECIFICACIONES

- 7 diferentes caudales: 510, 580, 680, 810, 940, 1135 y 1275 l/h.
- Caudales nominales a una presión de 2,5 bar.
- Presión de trabajo recomendada: 2,0 a 3,0 bar (en la cabeza del aspersor).
- Donde exista una concentración de arena de más de 2 ppm en el agua de riego, se debe instalar un hidrociclón para proteger el equipo de expertos de Netafim™.
- Trayectoria de chorro a 45 grados.
- Conexión de entrada: rosca macho de 1/2".
- Boquillas con código de colores para una fácil identificación.

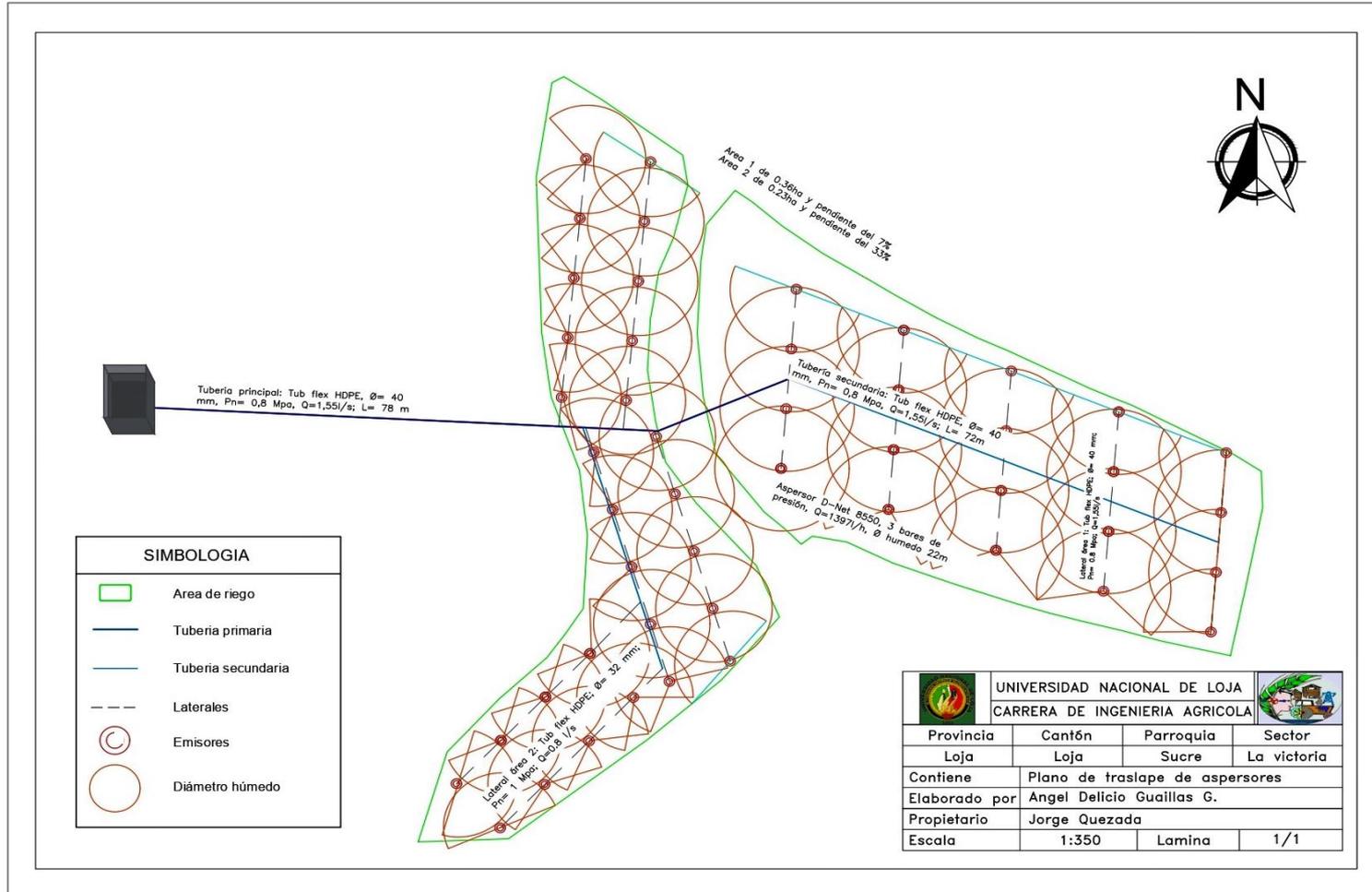
TABLA DE DESEMPEÑO

TAMAÑO DE BOQUILLA (MM)	CÓDIGO DE COLOR	PRESIÓN DE TRABAJO (BAR)	CAUDAL (L/H)	DIÁMETRO DE MOJADO* (M)	PRECIPITACIÓN (MM/H)			
					ESPACIAMIENTO (M X M)			
					10X12	11X12	12X12	13X12
2.3 + 1.8	GRIS + VERDE LIMÓN	1.5	395	18	3.5	3.2	2.9	2.1
		2.0	456	18	3.5	3.2	2.9	2.7
		2.5	510	19	4.4	4.0	3.7	3.4
		3.0	559	19	4.8	4.4	4.0	3.7
		1.5	449	18	3.7	3.4	3.1	2.9
2.5 + 1.8	PÚRPURA + VERDE LIMÓN	2.0	519	19	4.4	4.0	3.6	3.3
		2.5	580	19	4.9	4.4	4.0	3.7
		3.0	635	20	5.4	4.9	4.5	4.2
		1.5	527	18	4.4	4.0	3.7	3.4
2.9 + 1.8	NARANJA + VERDE LIMÓN	2.0	608	19	5.1	4.6	4.2	3.9
		2.5	680	20	5.7	5.1	4.7	4.3
		3.0	745	20	6.2	5.6	5.2	4.8
		1.5	627	18	5.2	4.8	4.4	4.0
3.2 + 1.8	VERDE + VERDE LIMÓN	2.0	724	19	6.1	5.5	5.0	4.7
		2.5	810	21	6.8	6.1	5.6	5.2
		3.0	887	21	7.4	6.7	6.2	5.7
		1.5	728	18	6.0	5.5	5.0	4.6
3.5 + 1.8	AZUL + VERDE LIMÓN	2.0	841	19	7.0	6.4	5.8	5.4
		2.5	940	21	7.9	7.1	6.5	6.0
		3.0	1,030	21	8.6	7.8	7.2	6.6
		2.0	1,015	22	8.1	7.5	7.3	6.8
3.5 + 2.5	AZUL + AMARILLO	2.5	1,135	22	9.0	8.4	8.1	7.6
		3.0	1,243	22	9.9	9.2	8.9	8.3
		2.0	1,145	22	9.1	8.5	8.2	7.6
4.0 + 2.5	NEGRO + AMARILLO	2.5	1,275	22	10.1	9.4	9.1	8.5
		3.0	1,397	22	11.1	10.3	10.0	9.3
		2.0	1,145	22	9.1	8.5	8.2	7.6

Anexo 11. Mapa de la red de tuberías y emisores



Anexo 12. Mapa de traslape del diámetro húmedo

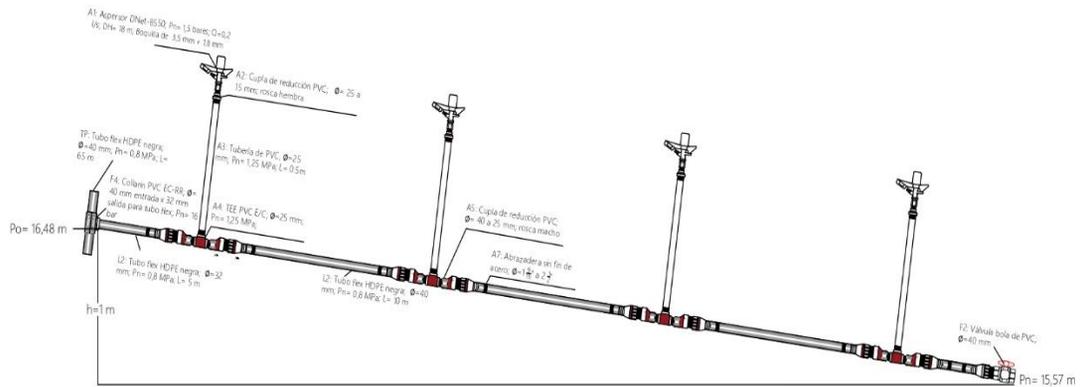


Anexo 13. Coeficiente de reducción de Christiansen para varias salidas

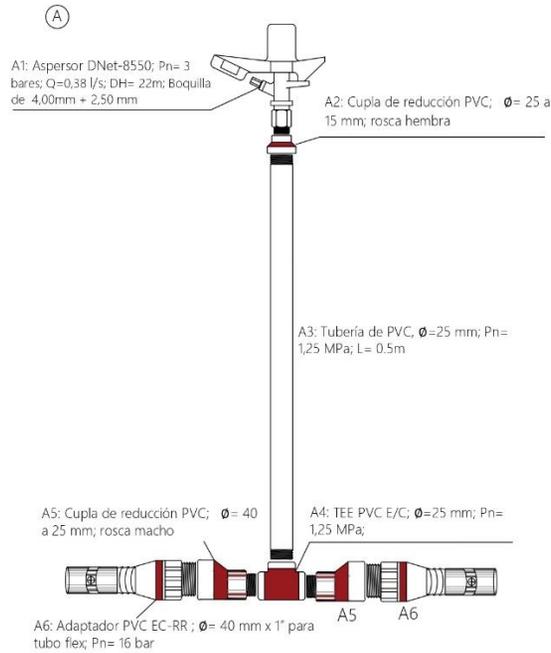
N° de salidas	F (n)	N° de salidas	F (n)
1	1	11	0.397
2	0.639	12	0.393
3	0.534	13	0.39
4	0.485	14	0.387
5	0.457	15	0.385
6	0.438	16	0.382
7	0.425	17	0.381
8	0.416	18	0.379
9	0.408	19	0.377
10	0.402	20	0.376

Fuente: Franquet, s/f

Anexo 14. Diagrama de instalación de un lateral

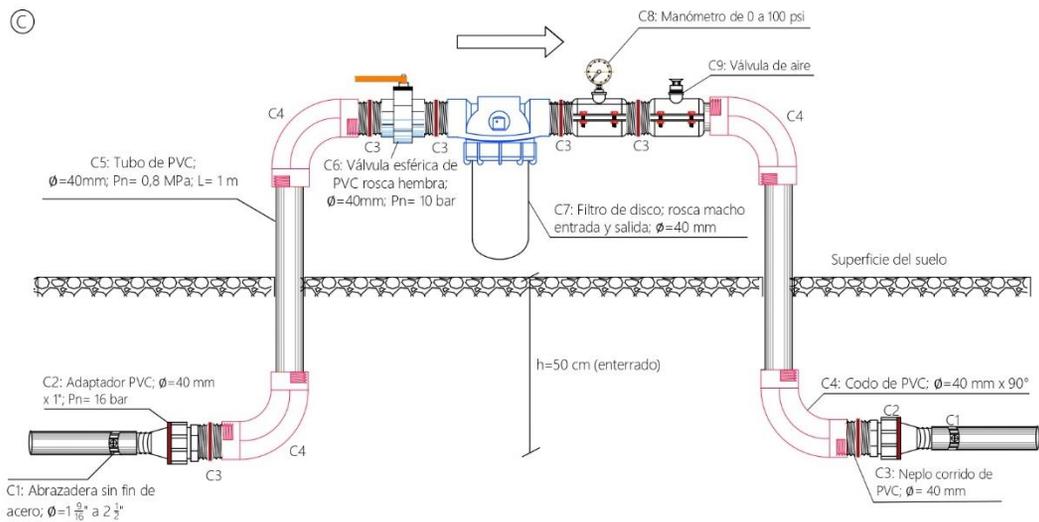


Anexo 15. Diagrama de instalación de un emisor

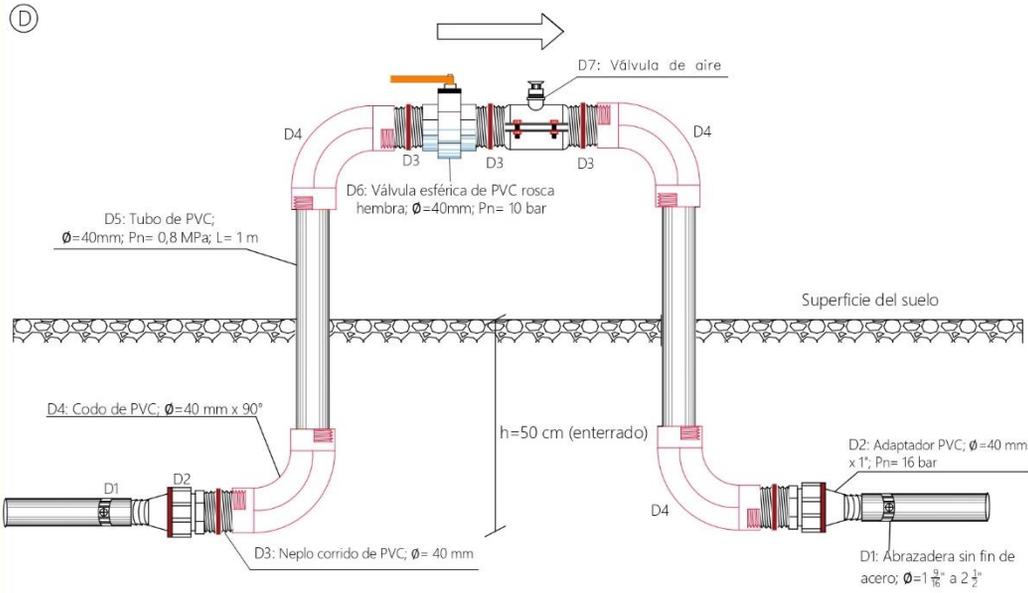


Anexo 16. Diagrama de instalación de un cabezal de control

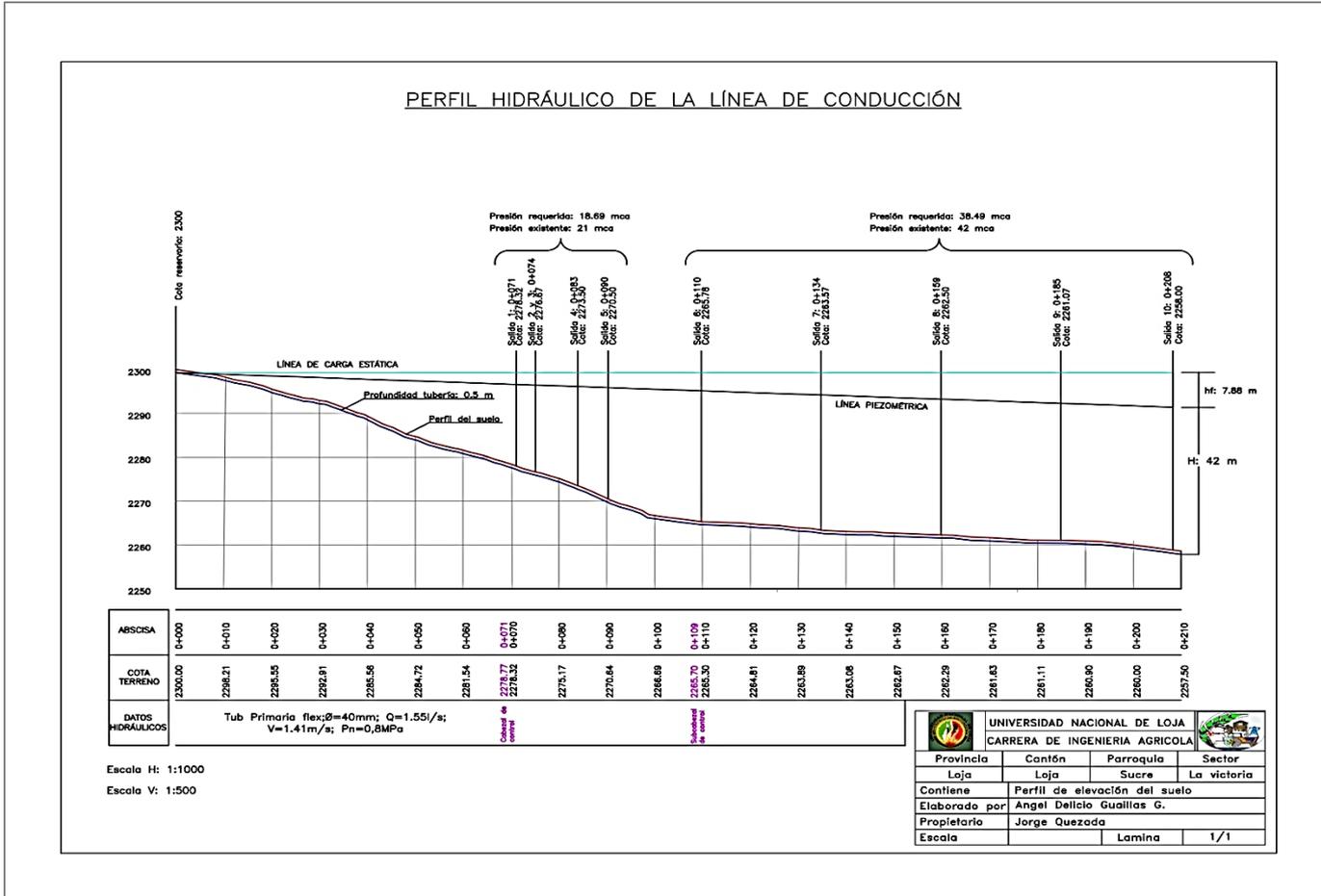
Esquema 1: Cabezal principal de control, ubicado en la línea principal



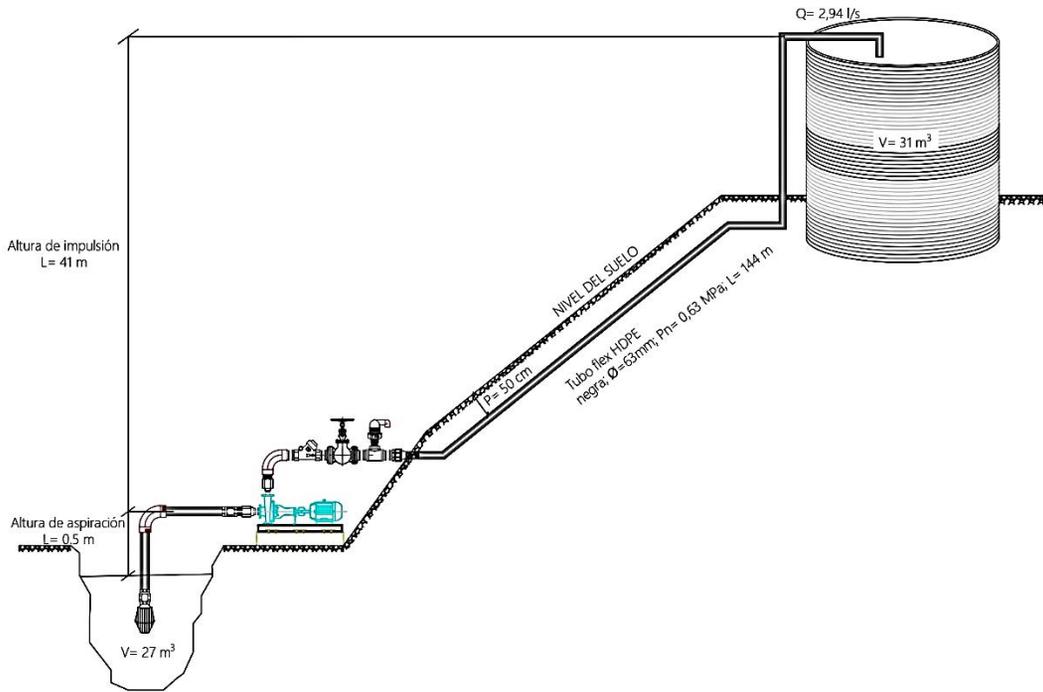
Esquema 2: Subcabezal de control



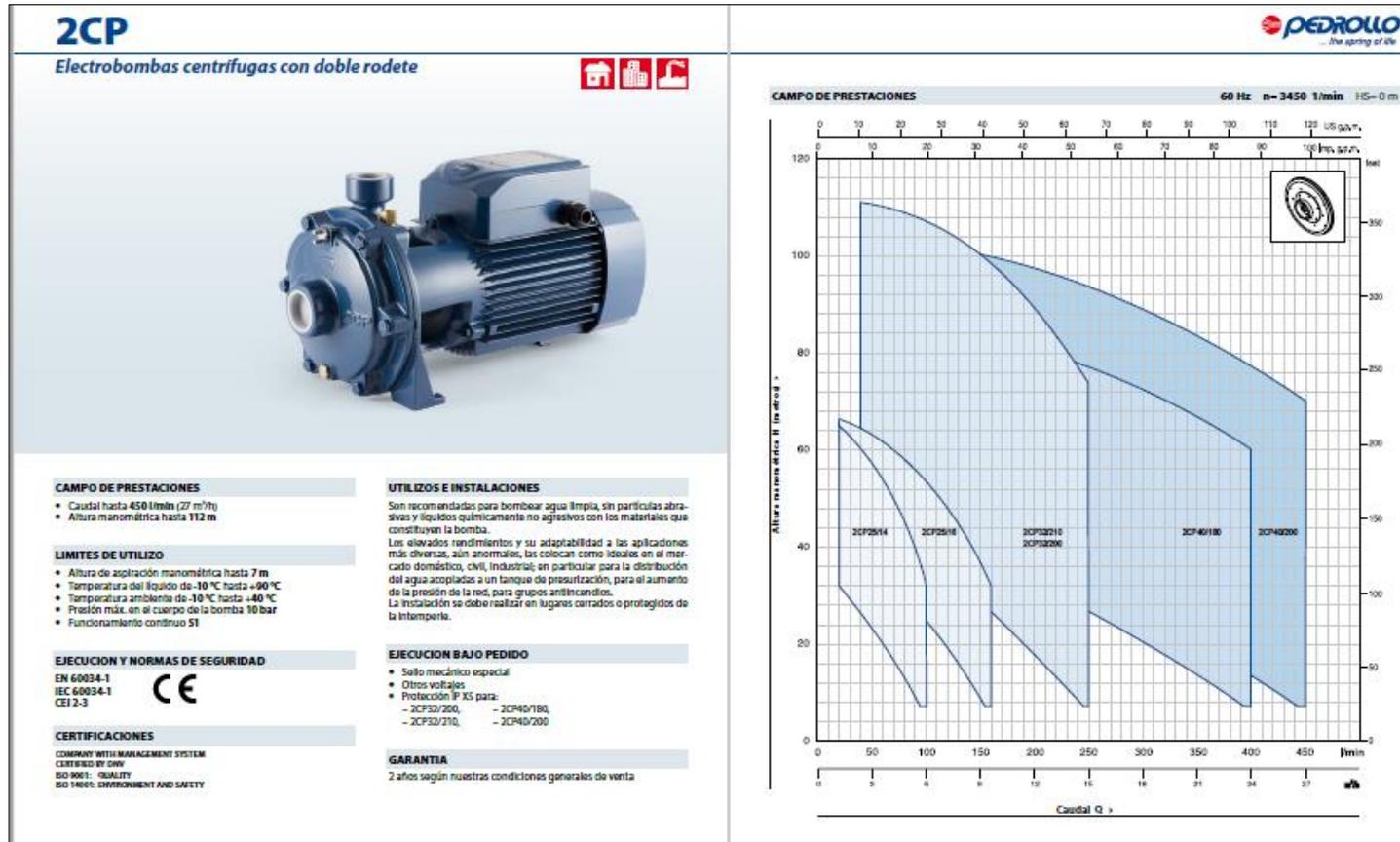
Anexo 17. Perfil de la línea de conducción



Anexo 18. Diagrama de ubicación de la fuente de agua y reservorio para determinar la altura geométrica total

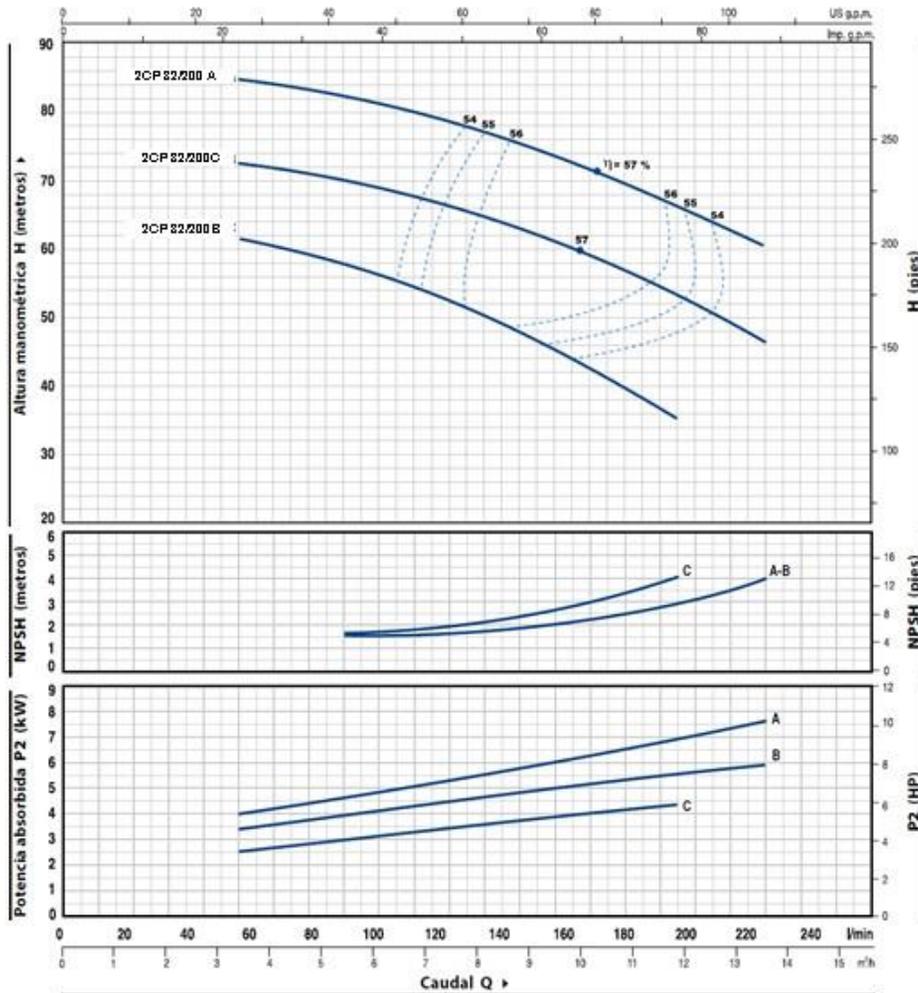


Anexo 19. Características técnicas de la motobomba



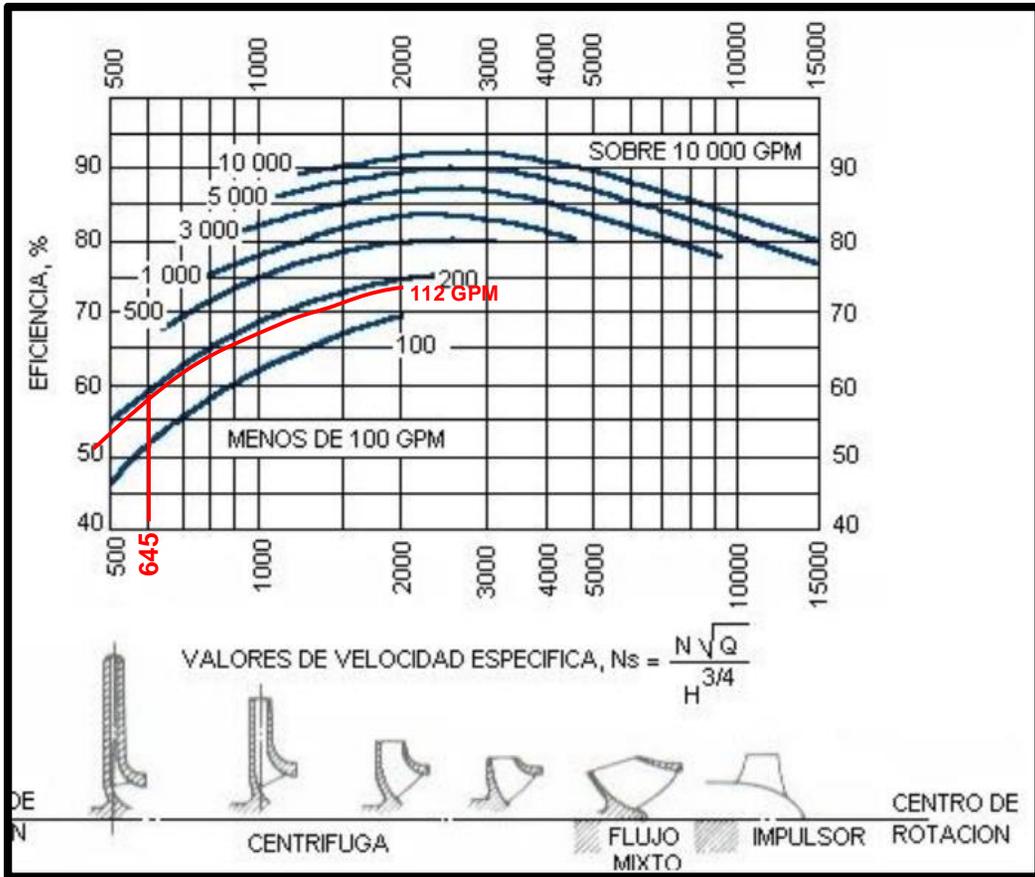
CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 1/min HS= 0 m

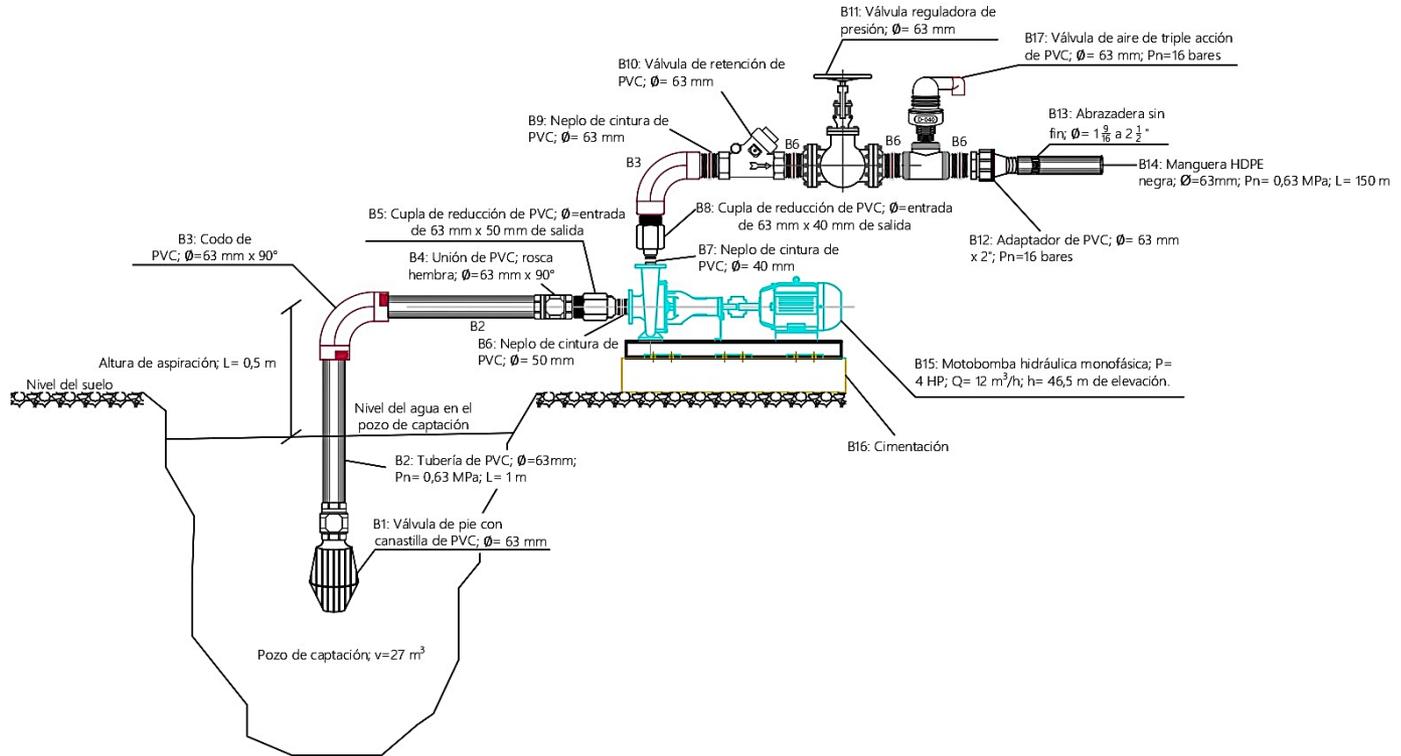


MODELO	POTENCIA		m³/h	Q	2.4	3	3.6	4.2	4.8	5.4	6	6.6	7.5	8.4	9.6	10.8	12	15
	Kw	HP																
2CP 32/200C	3	4	H metros	70	66.5	65.5	65	64	63	62	60.5	59	57	55	52	49.5	46.5	36
2CP 32/200B	4	5.5		85	81	80	79	78	77	76	75	74	72	69	66	62	58	49
2CP 32/200A	5.5	6		95	93	92	90	89	88	87	86	85	84	81	80	79	77	76

Anexo 20. Diagrama para determinar el tipo de motobomba



Anexo 21. Diagrama de instalación de la motobomba



Anexo 22. Certificado de traducción



UNIDAD EDUCATIVA "LUIS FELIPE BORJA DEL ALCÁZAR"

Av. Alonso de Mercadillo, Barrio Bambuscaro
Teléfono: 072605843 / Email: coordinacion@educacion.gob.ec
Zamora - Ecuador

Loja, 14 de Diciembre de 2022

GABRIELA ELIZABETH PUCHAICELA LEÓN
COORDINADORA DEL AREA DE LENGUA EXTRANJERA UELFBA

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

CERTIFICO:

Haber realizado la traducción de español a inglés del resumen de la Tesis titulada "Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) en el barrio La Victoria, parroquia Sucre, cantón y provincia de Loja " de autoría del sr. Angel Delicio Guailas Gualán, portador de cédula de identidad nro. **1106004128**. Egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Loja, trabajo que se encuentra bajo la dirección del ingeniero Manuel Romel Ramón Hurtado Mg. Sc. Previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrícola.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que creyera conveniente.

Atentamente,

Mg. GABRIELA ELIZABETH PUCHAICELA LEÓN
COORDINADORA DEL AREA DE LENGUA EXTRANJERA UELFBA

Mg. Gabriela E. Puchaicela L.
EFL TEACHER
C.I.: 1103756316
SENESECYE: 10930-2021-2321338

