

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño de un sistema de riego para los principales cultivos en la zona de  
Puyango, Provincia de Loja

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Duval Joel Jaramillo Porras

Luis Alfonso Vega Castro

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a mi familia, mi pareja y mis amigos, quienes han sido un pilar fundamental para formarme como profesional y obtener los conocimientos que me permitieron desarrollar este trabajo. En especial, mis padres y mi pareja, que son quienes me brindaron cada día el apoyo incondicional y motivación para alcanzar este gran logro.

Duval Joel Jaramillo Porras

## DEDICATORIA

Este logro conseguido va dedicado a mis abuelos, Luis y Rosario, quienes siempre me brindaron su apoyo durante toda mi etapa universitaria, siendo una parte importante en mi crecimiento tanto en lo personal y profesional. A mi familia por sus palabras y apoyo en cada paso que daba de mi carrera, también a mis amigos y demás amistades que me acompañaron siempre en esta aventura.

Luis Alfonso Vega Castro

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiéramos expresar nuestra gratitud con quienes hacen de la Escuela Superior Politécnica del Litoral la excelente universidad que es actualmente, como estudiantes estamos agradecidos por el conocimiento obtenido durante estos años para ser capaces de desarrollar de este proyecto, así mismo agradecer al profesor MSc. Daniel Avilés con su gran aporte en el diseño hidráulico y el tutor PhD. Miguel Quilambaqui, así como a MSc. Vicente Gordillo por las aportaciones realizadas en la parte agronómica. Un agradecimiento especial al señor Luis Prado, productor agrícola de la localidad de Alamor en Loja, quién nos brindó de su tiempo para darnos un recorrido por el lugar de estudio y también a MSc. Carlos Cuenca por presentarnos la problemática existente y su aporte con ideas para el proyecto.

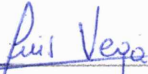
Reiteramos nuestro más sincero agradecimiento por la confianza depositada en nosotros de parte de todos los involucrados.

Duval Jaramillo Porras

Luis Vega Castro

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Duval Joel Jaramillo Porras y Luis Alfonso Vega Castro damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Luis Alfonso Vega Castro



Duval Joel Jaramillo Porras

## EVALUADORES

---

**PhD. Miguel Quilambaqui**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**MSc. Daniel Avilés**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

La provincia de Loja tiene una susceptibilidad media alta a la sequía, lo que conlleva a sufrir un déficit hídrico que afecta aproximadamente el 50% de su territorio, generando un problema para los agricultores y el riego de sus cultivos. El objetivo primordial del proyecto fue diseñar el sistema de riego para los principales cultivos de la comunidad rural de Puyango, con el fin de brindar a la población agrícola una red de tuberías capaz de suministrar agua a sus cultivos en los meses más difíciles. En primera instancia, se seleccionaron los cultivos más apropiados para la zona. Se calculó el requerimiento hídrico, usando el software CROPWAT 8.0, con las propiedades en cada fase de desarrollo de cada cultivo. Posteriormente se realizó el recorrido de tuberías en el software AutoCAD lo que permitió calcular los requerimientos del sistema y seleccionar la bomba que sea capaz de suministrar el volumen de agua necesario. El diseño final terminó con una longitud total de 1970 metros y una bomba de 7.5 HP para transportar 12 m<sup>3</sup>/h de agua. Se realizó un plano 2D que abarcó el sistema de riego que va desde el río Alamor hasta los cultivos. El proyecto tuvo un costo total de \$6035 con la ventaja de expandirse a terrenos aledaños, siendo un proyecto rentable con un VAN de \$4427 y el TIR del 24% con una recuperación de la inversión en el año 5.

**Palabras Clave:** Déficit hídrico, cultivos, sistema de riego, requerimiento hídrico.

## **ABSTRACT**

*The province of Loja has a medium-high susceptibility to drought, which leads to a water deficit that affects approximately 50% of its territory, creating a problem for farmers and the irrigation of their crops. The main objective of the project was to design the irrigation system for the main crops of the rural community of Puyango, in order to provide the farming population with a network of pipes capable of supplying water to their crops in the most difficult months. First, the most appropriate cultivars for the area were selected. The water requirement was calculated, using CROPWAT 8.0 software, with the properties at each stage of development of each crop. Subsequently, the piping route was made in AutoCAD software, which allowed calculating the system requirements and selecting the pump capable of supplying the necessary volume of water. The final design ended up with a total length of 1970 meters and a 7.5 HP pump to transport 12 m<sup>3</sup>/h of water. A 2D plan was made covering the irrigation system from the Alamor River to the crops. The project had a total cost of \$6035 with the advantage of expanding to neighboring lands, being a profitable project with an NPV of \$4427 and IRR of 24% with an investment recovery in year 5.*

**Keywords:** *Water deficit, crops, irrigation system, water requirement.*



# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	X
CAPÍTULO 1 .....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Definición del Problema .....	1
1.2 Justificación del proyecto .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico .....	4
1.4.1 Demografía y ubicación .....	4
1.4.2 Tipos de suelos.....	4
1.4.3 Principales cultivos de zona de Puyango .....	5
1.4.4 Distribución de siembra entre cultivos.....	6
1.4.5 Sistema de riego.....	7
1.4.6 Tipos de riego.....	7
1.4.6.1 Riego por aspersión .....	8
1.4.6.2 Riego por microaspersión.....	8
1.4.6.3 Riego por goteo.....	8
1.4.6.4 Componentes de un sistema de riego presurizado.....	9

1.4.7	Normas de Riego .....	9
1.4.8	Flujos hídricos en tuberías .....	9
1.4.9	Sistemas de filtrado .....	10
1.4.10	Tipos de Bombas .....	10
1.4.11	Bombas de desplazamiento positivo (BDP) .....	10
1.4.12	Proceso de selección de bomba .....	10
1.4.13	Parámetros de selección de bomba .....	11
CAPÍTULO 2 .....		12
2.	Metodología .....	12
2.1	Ubicación y geología de la zona de estudio .....	12
2.2	Alternativas de sistemas de riego para los cultivos seleccionados .....	13
2.2.1	Alternativa 1: riego por superficie .....	13
2.2.2	Alternativa 2: riego presurizado .....	14
2.3	Matriz de decisión .....	16
2.3.1	Diseño del sistema de riego por aspersión .....	18
2.3.2	Diseño del sistema de riego por goteo .....	19
2.4	Diseño hidráulico del sistema de riego .....	21
2.4.1	Criterio de selección de bomba .....	21
2.4.1.1	Consideraciones de diseño y asunciones .....	22
2.4.1.2	Formula de pérdidas de energía .....	23
2.4.2	Curvas del catálogo de bombas (curva de referencia) .....	26
CAPÍTULO 3 .....		27
3.	Resultados .....	27
3.1	Selección de tubería .....	27
3.2	Perdidas mayores y menores .....	27
3.3	Plano hidráulico del sistema de riego .....	30
3.4	Listado de Componentes .....	33

3.5	Características de la zona y de los cultivos.....	34
3.6	Análisis de costos.....	35
3.6.1	Costos Directos .....	35
3.6.2	Costos indirectos .....	37
3.7	Retorno de Inversión .....	38
3.8	TIR & VAN.....	40
CAPÍTULO 4 .....		41
4.	Conclusiones Y Recomendaciones .....	41
4.1	Conclusiones.....	41
4.2	Recomendaciones.....	42
BIBLIOGRAFÍA .....		43
APÉNDICES .....		46

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
CINCAE	Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador
PDOT	Plan de Ordenamiento Territorial

## SIMBOLOGÍA

BDP	Bombas de desplazamiento positivo
m	Metros
Pa	Pascales
Ha	Hectáreas
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
h	Hora
km	Kilómetros
Q	Caudal

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Modelado de sistema de riego por goteo.....	9
Figura 2.1 Clases de suelo de la zona de estudio .....	13
Figura 2.2 Diagrama de Moody .....	25
Figura 3.1 Curvas de selección de Bomba.....	28
Figura 3.2 Curvas de bomba CM32-200 .....	28
Figura 3.3 Dimensiones de la bomba CM seleccionada.....	29
Figura 3.4 Imagen representativa del sistema de riego .....	30
Figura 3.5 Ubicación del sistema de riego en Alamor, Puyango .....	30
Figura 3.6 Datos meteorológicos del Cantón Puyango.....	34

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Datos geográficos del cantón Puyango.....	4
Tabla 1.2 Superficie de cobertura del cantón Puyango .....	6
Tabla 2.1 Temperatura Media (°C ) del Cantón Puyango.....	13
Tabla 2.2 Tabla de ponderación .....	17
Tabla 2.3 Matriz de decisión .....	18
Tabla 2.4 Condiciones y propiedades de diseño .....	23
Tabla 2.5 Rugosidad de los materiales de tubería .....	24
Tabla 3.1 Diámetro de las tuberías seleccionadas .....	27
Tabla 3.2 Pérdidas mayores y menores en el sistema de tuberías .....	27
Tabla 3.3 Requerimientos del sistema .....	27
Tabla 3.4 Propiedades de la bomba seleccionada .....	28
Tabla 3.5 Parámetros Técnicos Bomba CM 32-200 B 7.5 HP .....	29
Tabla 3.6 Parámetros de trabajo de la bomba .....	29
Tabla 3.7 Listado de componentes del sistema de riego.....	33
Tabla 3.8 Especificaciones principales de los cultivos y de la zona de estudio.....	34
Tabla 3.9 Requerimiento Hídrico de los principales cultivos del cantón Puyango .....	35
Tabla 3.10 Costos de los accesorios del Sistema de Riego.....	36
Tabla 3.11 Tuberías del Sistema de Riego .....	36
Tabla 3.12 Elementos del Sistema Motriz .....	36
Tabla 3.13 Requerimientos varios .....	37
Tabla 3.14 Costos de Mano de Obra.....	37
Tabla 3.15 Ingresos Primer año de siembra .....	389
Tabla 3.16 Ingresos Segundo año de siembra.....	39
Tabla 3.17 Ingresos Tercer año de siembra.....	39
Tabla 3.18 Tasa Interna de Retorno y Valor Actual Neto .....	40

# ÍNDICE DE PLANOS

Plano 3.1 Sistema de Riego .....	32
----------------------------------	----



# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Definición del Problema

El cantón Puyango tiene una superficie total de 63,680.76 Ha, de ella el 43.70% (27,828.49 Ha) está cubierta por vegetación y las actividades agrícolas en la zona de influencia están representado por los principales cultivos, como es el maíz (8.03%), caña de azúcar (0.74%), café (3.56%), pasto cultivado (1.53%), y plantaciones forestales. El 12.70% (8087.45 Ha) de la superficie global se haya cubierto por cultivos de ciclo corto, semipermanente y permanentes; y un mínimo porcentaje (0.98%) de la extensión territorial está ocupado por cuerpos de agua para satisfacer la principal demanda hídrica en la zona urbana, rural y agrícola (Puyango-Sistemas Productivos, 2013).

La principal problemática de la comunidad agrícola de Puyango radica en el déficit hídrico o la falta de agua para suministrar la cantidad necesaria a sus cultivos. Se conoce que el cantón Puyango, ubicado en la provincia de Loja tiene una susceptibilidad media alta a sequía según el plan nacional de sequía (Plan Nacional de Sequía, 2021) lo cual genera total preocupación en los moradores debido a que la actividad agropecuaria es una de las principales actividades del cantón un porcentaje del 50,7% (PDyOTP, 2019).

En este mismo sentido, la disponibilidad de agua para riego en el cantón Puyango se distribuye en el siguiente porcentaje, superficie bajo riego 2920.85 Ha (4.59%), sin riego 32,428.64 Ha (50.92%) y área que no aplica riego 28,331.28 Ha (44.49%). Por esta razón, los agricultores de la zona Puyango en un gran porcentaje sólo realizan agricultura de secano y no cuentan con infraestructura pública que le garantice agua para riego en época de sequía (PDyOTP, 2019).

Ciertamente el déficit hídrico que afecta el 48.94% al territorio de la provincia de Loja en la que se ubica el cantón Puyango, está sequía limita la producción

agrícola durante los 6 meses del año en toda la zona agropecuaria del área de estudio (PDyOTL, 2019).

Al existir solo una extensión de agua, se generan conflictos sociales al momento de compartir este recurso por lo que implementar el sistema de riego presurizado permitirá optimizar la disponibilidad del recurso hídrico mediante la aportación directa de agua a la raíz del cultivo y maximizar la productividad de los agricultores de la comunidad rural de Puyango.

Actualmente, se ha tratado de dar solución a esta problemática realizando ensayos en la implementación de sistemas de riego, gestionados por diferentes entidades con la participación de comunidad, como por ejemplo los ya implementados en la zona de Cango Viejo del cantón Puyango, los cuales han permitido llevar el agua desde afluentes cercanos como el río Mercadillo y conducirlos mediante tuberías hasta las diferentes fincas de la zona, donde cada una de ellas tiene un horario definido para recibir el líquido vital. Este sistema ya se encuentra funcional y solo trabaja durante la época de verano. Esto deja como responsabilidad individual a cada dueño de las fincas de buscar la ayuda técnica que le permita contar con diseño para la implementación en sus propiedades, dependiendo el tipo de cultivo y el área. Así mismo en la actualidad existe el proyecto de inversión “Crédito de las oportunidades” gestionado por BanEcuador, el cual permite acceder a créditos desde 500 a 5000 dólares al 1% para financiamiento de costos indirectos de las actividades de la agro producción, el cual podría ser estimado como capital para la implementación del sistema de riego necesario para el cultivo de un determinado lugar (Crédito de las Oportunidades - BanEcuador, 2022).

## **1.2 Justificación del proyecto**

El agua es un recurso natural muy escaso en época de verano en la zona de Puyango, siendo necesario la implementación de medidas que permitan mejorar el uso del recurso hídrico destinado para la producción agropecuario, además la falta de capacitación en gestión administrativa de riego.

La implementación de un sistema de riego presurizado en zonas que presentan sequía en época de verano permite la optimización del recurso hídrico y la diversificación de la producción durante todo el año, este método de riego facilita un ahorro significativo por su alta eficiencia para controlar fácilmente el agua aplicada, reduce el esfuerzo de los trabajadores y genera una producción sustentable. Esto permitirá dar una nueva opción a los pobladores de estas zonas que se ven obligados a emigrar debido a la falta de oportunidades y desarrollo tecnológico para aprovechar los proyectos ya funcionales por falta de conocimiento técnico.

El diseño del sistema de riego y su correspondiente estudio económico permitirá aprovechar otro tipo de proyectos de inversión como el mencionado “Crédito de las oportunidades” para mejorar la situación económica de los agricultores y así mejorar la producción agrícola nacional.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar el sistema de riego para los principales cultivos de la comunidad rural de Puyango, Loja.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar qué cultivos son los más ideales para la zona de Puyango, Loja.
- Definir y seleccionar el mejor método de riego para los principales cultivos de la zona de Puyango.
- Especificar los componentes del sistema de riego a implementar.
- Realizar el diseño hidráulico del método de riego y sus respectivos planos mediante el uso de software.
- Diseñar un plan de cultivo para la zona de interés con especies agrícolas de la zona.
- Analizar el precio unitario y el presupuesto referencial para la implementación del sistema de riego en el área de estudio.

## 1.4 Marco teórico

Este capítulo engloba conceptos básicos de mecánica de fluidos, edafología y cultivos tropicales, los cuales direccionan un óptimo diseño hidráulico del proyecto. Nos ilustra con principios básicos de flujo en tuberías, tipos de bombas y tipos de riego; además estudia los tipos de suelo y los principales cultivos con los que se va a trabajar.

### 1.4.1 Demografía y ubicación

A continuación, en la tabla 1.1 se presentan los datos correspondientes al cantón Puyango.

**Tabla 1.1 Datos geográficos del cantón Puyango** [G.A.D.M de Puyango, 2014].

<b>Nombre del GAD</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango
<b>Extensión</b>	63 680.76 ha
<b>Límites</b>	<b>Norte:</b> Cantón Las Lajas en la provincia de El Oro <b>Sur:</b> Los Cantones Pindal y Cética de la provincia de Loja <b>Este:</b> Cantón Paltas de la provincia de Loja <b>Oeste:</b> Cantón Zapotillo y Perú
<b>Rango altitudinal</b>	400 – 2 400 msnm
<b>Rango climático</b>	12 °C - 18 °C

### 1.4.2 Tipos de suelos

Según su textura estos se clasifican en: arenoso, limoso y arcilloso.

Arenoso: este tipo de textura tiene partículas grandes entre 0.05 mm a 2 mm por lo que es áspera, y al tratar de unirla esta se disgrega, debido a que sus partículas son grandes no retienen el agua por lo que estas se secan con facilidad y tienen un buen drenaje, al momento de trabajar su

labranza sea más fácil ya que se rompe con facilidad. Debido a que esta se seca rápidamente se requiere de riegos continuos (Prosap, 2016).

Limoso: este tipo de textura tiene partículas intermedias que miden entre 0,002 mm y 0,05 mm, estos se caracterizan por tener propiedades intermedias de suelos arenoso y arcillosos, estos al estar húmedos se pueden formar terrones, pero al secarse se disgregan fácilmente. Son fértiles y fáciles de trabajar, no retienen el agua por largos periodos y cuenta con una capacidad disponible para las plantas (Prosap, 2016).

Arcilloso: este tipo de textura tiene partículas pequeñas que miden 0,002 mm, por lo que están compuestos entre el 100 al 40 % de arcilla, entre sus principales características es que su textura es pegajosa y moldeable, debido a que sus partículas son muy pequeñas estas pueden retener la mayor cantidad de agua a comparación de las otras texturas, por otra parte, estos no drenan ni secan con facilidad. Estos suelos tienen una buena reserva de nutrientes por lo que hace que estos sean más fértiles (Prosap, 2016).

### **1.4.3 Principales cultivos de zona de Puyango**

La cobertura correspondiente a la vegetación natural del cantón Puyango es del 43.70% del total de su superficie, siendo los cultivos más representativos de este sector el café, maíz, caña de azúcar artesanal, banano, fréjol y plantaciones forestales como pino, teca, balsa y eucalipto. A continuación, se presenta una tabla correspondiente a los cultivos representativos y su respectivo porcentaje.

**Tabla 1.2 Superficie de cobertura del cantón Puyango** [Puyango-Sistemas Productivos, 2013].

<b>Cultivo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje %</b>
BANANO	2.96	0.005
CAFÉ	2 263.83	0.005
CAÑA DE AZÚCAR	467.73	0.734
FRÉJOL	3.08	3.555
MAÍZ	5 347.38	8.397

#### **1.4.4 Distribución de siembra entre cultivos**

Una de las partes más importantes en la siembra es la distribución entre cada cultivo, este espacio permitirá en un inicio saber cuántas plantas sembrar y dónde deben situarse siendo crucial para su buen crecimiento. Esta distancia depende de varios factores, como el tamaño y posterior desarrollo del cultivo para evitar problemas con sus raíces, ramas o incluso obstruyan los rayos del sol a las demás plantaciones, finalmente que tengan la separación adecuada para una correcta aireación y evitar la proliferación de bacterias y hongos (Muñoz, 2020).

- Banano: Existe varias distancias entre plantaciones, pero usualmente se emplea de 3 x 3 metros, obteniendo una aproximación de 1000 plantas por cada hectárea. (Baridón & Villareal, 2017).
- Caña de azúcar: La siembra se puede realizar de dos formas, la primera es de doble hilera con una separación entre 120 - 150 cm y 45 cm entre el par, mientras que para un esparcimiento de hilera simple se realiza a 200 cm entre hileras y 150 cm entre planta (Jain Irrigation systems Ltd., 2013).
- Café: La distancia de siembre recomendada va desde 150 cm a 200 cm entre surcos y desde 90 a 150 cm entre plantas; sin embargo, suele sembrarse a una distancia de 3 x 3 metros (Romero & Camilo, 2019).

- Maíz: La distancia recomendada de siembra es de 0,8 a 1 m entre cada hilera y de 50 cm entre plantas y 2 semillas por sitio o golpe, obteniendo aproximadamente una densidad poblacional de 50000 plantas por hectárea (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, 2011).

#### **1.4.5 Sistema de riego**

Un sistema de riego es una forma de poder proporcionar agua desde una fuente a un área específica. Generalmente, su utilización se enfoca en el campo agrícola y su eficiencia se centra en llevar la mayor cantidad posible de agua ya sea al suelo o a los cultivos. Un problema importante para tener en cuenta es la evaporación la cual puede afectar considerablemente a la pérdida de agua durante el proceso de rocío ya que en días calurosos se puede evaporar el agua sin llegar a tocar el suelo (Black, 2022).

Para transportar el agua hacia de cultivos se realiza mediante una red de tuberías, y por medio de unos rociadores se pulveriza el agua en el aire cayendo al suelo en forma de lluvia. La aplicación de riego puede darse de manera eficiente y uniforme al área de cultivos con una cuidadosa selección del tamaño de los rociadores y una ubicación estratégica, además este sistema proporciona una suficiente cobertura para una gran variedad de cultivos y suelos, así como áreas grandes y pequeñas adecuado para terrenos irregulares permitiendo aplicar fertilizantes solubles, herbicidas y fungicidas durante el riego.

#### **1.4.6 Tipos de riego**

Los métodos más comunes de riego son por superficie que abarca el riego por surcos, tendido y por melgas. Estos se caracterizan por la elaboración de zanjas para suministrar agua a los cultivos; sin embargo, estos tipos de riego son muy ineficientes debido a la alta pérdida de recursos. El otro método es de presurizado, siendo esta opción la más ideal ya que esta se realiza por aspersion, microaspersión o goteo. Debido a esto se tiene un

control más eficiente del consumo del agua además de que es ideal para terrenos irregulares (Demin P. E., 2014). A continuación, se detallarán más los tipos de riego presurizados.

#### **1.4.6.1 Riego por aspersión**

Es el método más común que se suele observar en los distintos campos de riego, este se realiza con ayuda de bombas y aspersores distribuyendo el agua en la zona determinada en forma de gotas de lluvia. La ubicación de los aspersores dependerá del área a regar ya que entre más área se deba cubrir, se debe implementar más aspersores siendo fundamental una colocación estratégica para cubrir todo el campo necesario.

Tienen gran capacidad para abarcar todo el cultivo, según un estudio del congreso nacional de riego se conoce que el tamaño de gota “Para estos aspersores, con diámetros de boquilla grande y altas presiones (450-500 kPa), se forman un rango de tamaño de gota similares (hasta 3,5 mm - 4 mm)”. (Laserna *et al.*, 2016).

#### **1.4.6.2 Riego por microaspersión**

El método de microaspersión se caracteriza por tener gotas más finas a diferencia del anterior método. Es utilizado para cultivos que requieran menor volumen de agua, además tienen un alcance corto de 3 a 4 metros (Demin P. , 2014).

#### **1.4.6.3 Riego por goteo**

Este método de riego es una forma eficaz de suministrar agua a los cultivos, debido a que la entrega de este recurso se realiza mediante unas tuberías con un pequeño orificio justo en donde se sitúa el cultivo, lo que se traduce en un suministro directo a la zona y únicamente lo que se necesita proporcionando un gran ahorro al agricultor.





**Figura 1.1 Modelado de sistema de riego por goteo** [Rafel Fernández Gómez *et al.* Manual de riego para agricultores. Junta de Andalucía. 2010].

#### 1.4.6.4 Componentes de un sistema de riego presurizado

- Bomba
- Líneas principales y secundarias (tuberías)
- Aspersores
- Aplicador de fertilizantes (opcional)
- Accesorios como filtro, válvulas de control, manómetros, etc.

#### 1.4.7 Normas de Riego

- ISO 11545:2009, “Agricultural irrigation equipment - Centre-pivot and moving lateral irrigation machines with sprayer or sprinkler nozzles - Determination of uniformity of water distribution”.
- Agricultural irrigation equipment — Sprinklers — Part 2: Design and operation requirements (ISO 15886,2021)
- Equipos de riego. Emisores y tuberías emisoras. Especificaciones y métodos de ensayo (ISO 9261,2004).

#### 1.4.8 Flujos hídricos en tuberías

La mecánica de fluidos describe el comportamiento que va a tomar el fluido a través de la tubería, este puede ser de régimen laminar, turbulento.

#### **1.4.9 Sistemas de filtrado**

Un gran inconveniente que puede presentarse en un sistema de riego es la introducción de partículas que obstruyan el paso del agua hacia los emisores. Esto trae consecuencias considerables haciendo que funcionen de una manera incorrecta, como aplicar menos agua hacia los cultivos, reducir la presión de salida en los emisores incluso partículas que puedan perjudicar la calidad agua reduciendo la productividad de la cosecha (TRAXCO, 2016). Es aquí donde entran en funcionamiento los filtros, estos ayudan a preservar y proteger el sistema de riego, siendo importante su elección en función del caudal y el origen y calidad del agua.

#### **1.4.10 Tipos de Bombas**

Dentro del estudio de la mecánica se encuentran las turbo-maquinarias, palabra que proviene del latín turbo que significa <giro> denotando que son máquinas que giran. Cuando se añade energía al fluido se las conoce comúnmente como bombas y cuando aprovechan la energía del fluido (extrayéndola) se la denomina turbinas, las cuales tienen como función añadir energía al fluido.

#### **1.4.11 Bombas de desplazamiento positivo (BDP)**

El principio básico de funcionamiento se basa en el desplazamiento de masa, mediante cambios de sección y variación de volumen, todo esto con la finalidad de forzar el movimiento del fluido a través de la máquina (White, 2004). Este tipo de bombas pueden trabajar a presiones muy elevadas y con fluidos de alta viscosidad.

#### **1.4.12 Proceso de selección de bomba**

Desde el punto de vista hidráulico, el proceso de selección sigue las etapas siguientes (García & Robaina, 2022):

- Determinación de los parámetros de instalación y de la bomba.
- Determinación del tipo de bomba.
- Preselección.

- Verificación del funcionamiento sin cavitación.
- Especificación del modelo seleccionado.

#### **1.4.13 Parámetros de selección de bomba**

- Caudal necesario  $Q$
- Diámetro de las tuberías
- Altura manométrica total  $HM$
- Altura manométrica de succión  $HMs$
- NPSH disponible

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

La zona de Puyango en la provincia de Loja, carece de un sistema de riego para los sembríos realizados por los habitantes del sector ya que la dificultad de acceder al recurso hídrico es complicada actualmente, se debe diseñar un sistema de riego para los diferentes cultivos de la zona. Para ello primero se realizó una reunión para conocer detalladamente las necesidades y complicaciones de la zona, puesto que es necesario un análisis del terreno, sus dimensiones y los cultivos que actualmente se cosechan, después se investigaron los diferentes sistemas de riego que existen y detallando cada uno. Así mismo, se evaluaron las ventajas y limitaciones que cada sistema posee para un mejor conocimiento de los factores que predominan para una buena selección de diseño. Una vez estudiado cada sistema de riego se procedió a realizar la matriz de decisión evaluando las variables más importantes tales como la rentabilidad, eficiencia del riego, durabilidad de los materiales, mantenimiento del equipo y la disponibilidad del recurso que se deben considerar para la situación de los habitantes explicada con antelación. La alternativa con mejor ponderación fue la de riego presurizado, es decir el riego realizado por medio de emisores/aspersores. Seleccionado el sistema de riego, se obtuvieron las propiedades de evapotranspiración con el software Cropwat 8.0 (Licencia gratuita) para luego poder calcular el requerimiento hídrico de cada cultivo, determinando que en su etapa de desarrollo es donde más volumen de agua necesita para obtener el caudal máximo. Posteriormente, se realizó una visita al lugar para observar las condiciones del terreno y realizar un diseño adecuado de la distribución de tuberías para determinar el cabezal requerido por medio de la ecuación de Bernoulli modificada. A continuación, se procedió a seleccionar la bomba mediante los requerimientos calculados y finalmente, mediante el software AutoCAD 2022 (Licencia Estudiantil ESPOL) se realizó el plano detallado de la distribución del sistema y sus accesorios.

### 2.1 Ubicación y geología de la zona de estudio

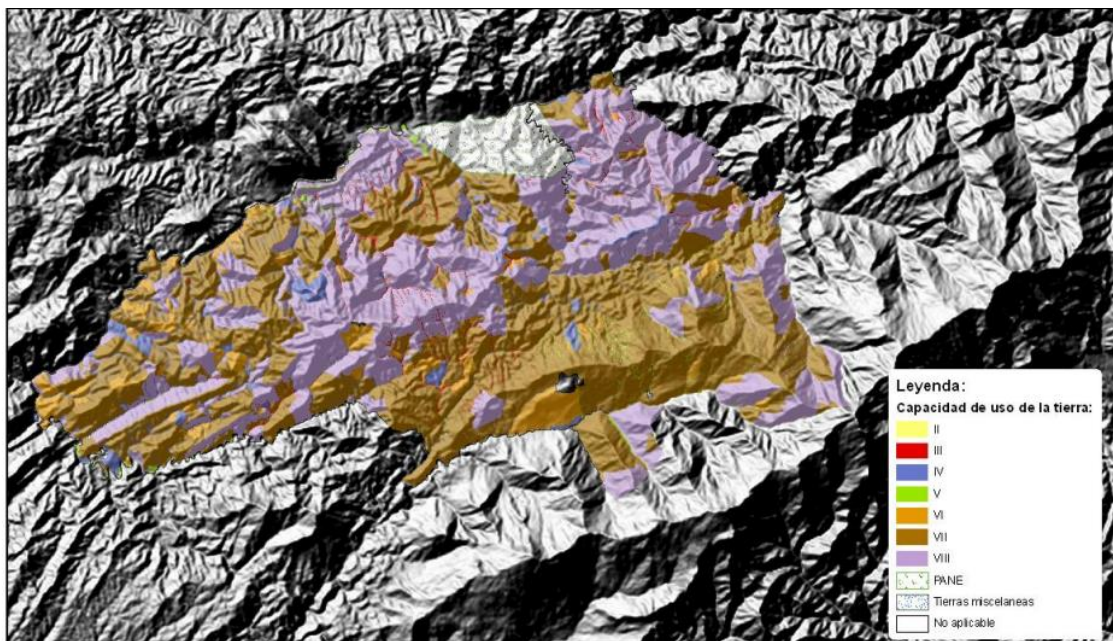
La zona de estudio se encuentra a unos kilómetros de Alamor exactamente en las coordenadas -4.03, -80.00 a una altitud aproximada de 1080 metros.

Los datos meteorológicos mensual y anual de la zona se obtuvieron por medio del INAMHI en el Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial de Puyango 2019, se muestran a continuación en la tabla 2.1:

**Tabla 2.1 Temperatura Media (°C) del Cantón Puyango** [G.A.D.M de Puyango, 2014]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agto	Sept	Oct	Nov	Dic
Puyango	25.7	25.4	25.7	25.6	25.2	25.3	24.7	25.0	24.9	25.0	25.2	25.2

Así mismo, dentro de esta zona se encontraron diferentes tipos de suelos, los cuales se pueden observar de acuerdo con la clasificación de la figura 2.1:



**Figura 2.1 Clases de suelo de la zona de estudio** [IEE-MAGAP (CGSIN), 2013].

## 2.2 Alternativas de sistemas de riego para los cultivos seleccionados

### 2.2.1 Alternativa 1: riego por superficie

Este tipo de método tiene como principio físico la utilización de la energía potencial. El agua se desplaza por gravedad de un punto 1 a un punto 2, gracias a la diferencia de nivel en que se encuentran. Por lo que se debe trazar un canal que vaya desde la fuente de agua (llave) y que pase a través de todas las parcelas que contengan cultivos.

El primer análisis para esta metodología es analizar qué tipo de suelo se tiene para considerar la infiltración del agua según la disponibilidad del recurso hídrico.

Para el diseño de los surcos se debe considerar el tipo de terreno (rocoso, planos, irregulares, etc.) para validar que tipos de surcos son los más indicados, por ejemplo, para la parte donde los terrenos son planos se debe colocar surcos rectos, para terrenos ondulados se debe colocar surcos de contorno y así.

El siguiente punto de diseño viene a ser las dimensiones del surco que van a depender de los requerimientos de agua de cada cultivo y con ello finaliza el diseño del sistema de riego.

#### **Ventajas del riego por superficie:**

- Presupuesto económico bajo
- Simplicidad de infraestructura e instalación
- No se ve afectado por agente externo (aire)
- Económicamente accesible

#### **Limitaciones del riego por superficie:**

- Mantenimiento frecuente
- Actividad prolongada
- Trabajo duro de realizar

### **2.2.2 Alternativa 2: riego presurizado**

Un sistema de riego presurizado opera con un sistema de tuberías, en el cual fluye agua bajo presión. Inicialmente, se deben tener los datos del caudal y la presión del agua donde se colocará la tubería principal del sistema debido a que estos factores deben ser lo suficientemente capaz de poder transportar el agua a través de todo el conjunto de tuberías desde la fuente hasta los cultivos respectivos. Una vez obtenido estos datos se procede con el diseño de tuberías tomando en consideración las

dimensiones de las parcelas, longitud del tramo desde la fuente hasta los cultivos y qué tipos de cultivos se tienen. Terminado el análisis, se calcula todas las pérdidas del trayecto en las tuberías para seleccionar la bomba del sistema. Estos sistemas son muchos más eficientes reduciendo las pérdidas de agua al mínimo, por lo que las alternativas analizadas para este método está el riego por aspersión y riego por goteo (Sela, 2020).

### **Ventajas del riego por goteo**

- Máxima eficiencia en el uso del agua.
- Máxima eficiencia en la aplicación de riego a los cultivos.
- Su costo de funcionamiento es bajo en comparación al sistema por aspersión.
- La velocidad del viento no afecta al rendimiento del sistema.
- Garantiza un desarrollo uniforme del cultivo.

### **Limitaciones del riego por goteo**

- Costo elevado de instalación inicial.
- Se debe supervisar regularmente lo que podría ser un problema para el agricultor.
- Si la calidad de agua no es revisada, las sales podrían obstruir el paso del agua en las boquillas del emisor, además de una proliferación de bacterias en el sistema de filtrado.
- Los fertilizantes podrían ser corrosivos para ciertas partes del sistema.

### **Ventajas del riego por aspersión**

- Los rociadores permiten una distribución eficaz del agua con un uso minucioso, teniendo una eficiencia cercana al 80%.
- Proporciona un mejor control en la aplicación del agua, ideal para riegos ligeros y frecuentes.
- Se ahorra entre un 10% y 16% de terreno al eliminar canales/zanjas comparado a otros tipos de riegos.

- Ideal para suelos arenosos como arcillosos sin preocupación de erosión, inundación y pérdidas por filtración.
- En este sistema se puede implementar conjuntamente el fertilizante, pesticidas, etc.
- Es el más adecuado para cultivos de hortalizas, aceite y cereales ya que se recomienda usar en cultivos con una población muy alta por unidad de superficie.
- Hay menos posibilidades de que los rociadores se obstruyan en comparación a un sistema por goteo (Bayabil et al., 2022).

### **Limitantes de riego por aspersión**

- Elevado coste inicial de equipos.
- Los vientos fuertes pueden perjudicar la distribución correcta del agua.
- Un exceso de humedad en las hojas puede ayudar al desarrollo de enfermedades.
- Las pérdidas por evaporación son más considerables en comparación a otros métodos debido a los rociadores.
- Los cultivos altos podrían perjudicar a los demás cultivos obstruyendo el sistema de aspersión de ciertos rociadores.
- Costo de mantenimiento elevado. Debido a los conocimientos requeridos para un correcto diseño, las posibilidades de fallar pueden aumentar si no se cuenta con la experiencia necesaria (Bakhsh & Choudhry, 2017).

## **2.3 Matriz de decisión**

### **Variables por considerar**

**Económico:** se busca un diseño que esté al alcance de los pobladores, ya que va dirigido para personas de bajos recursos. Se busca implementar un proyecto rentable para los agricultores.

**Eficiente:** Se requiere un suministro de agua acorde a los requerimientos de cada cultivo, reduciendo al máximo el desperdicio de este recurso natural tan



importante. Cumpliendo así uno de los objetivos de desarrollo sostenible (OD`S 12) producción y consumo responsable (Naciones Unidas, 2015).

**Durabilidad:** se necesita que el diseño perdure a lo largo del tiempo, sin sufrir daños en su sistema.

**Mantenimiento:** Se pretende que el sistema necesite de una frecuencia de mantenimiento muy amplia y que sus mantenimientos sean fáciles y rápidos de ejecutar.

**Disponibilidad:** se busca un riego constante a lo largo de toda la etapa del cultivo para asegurar una correcta producción de este.

### **Rango de valores de las variables a calificar**

Para la matriz de decisión se selecciona un rango de valores y se determina la ponderación de cada variable de las alternativas, representado en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Tabla de ponderación** [Elaboración propia].

<b>Ponderación</b>	<b>Descripción</b>
<b>5</b>	Excelente
<b>4</b>	Muy bueno
<b>3</b>	Bueno
<b>2</b>	Regular
<b>1</b>	Malo

**Tabla 2.3 Matriz de decisión** [Elaboración propia].

Sistemas de riego	Económico (Rentable)	Eficiente	Durabilidad	Mantenimiento	Disponibilidad	TOTAL
Riego por gravedad	4	3	2	3	2	14
Riego presurizado	2	4	4	4	4	18

De acuerdo con las prioridades para un correcto diseño del sistema de riego, se evaluaron las variables de mayor importancia tales como el factor económico, la eficiencia del regado, la durabilidad, facilidad de mantenimiento y disponibilidad del recurso para el regado. En base a estos criterios se obtuvo que la mejor solución al problema es la alternativa 2 con sistemas de riego presurizado, tal como se detalla en la tabla 2.3.

### 2.3.1 Diseño del sistema de riego por aspersión

Para un sistema típico de riego por aspersión se realizan los siguientes pasos:

- Estudio preliminar del terreno
- Selección de rociadores
- Disposición de las parcelas y cobertura de los rociadores
- Estimación de las pérdidas de carga del sistema
- Estimación de la potencia requerida
- Cálculo del tiempo de funcionamiento

#### **Estudio preliminar del terreno**

Es importante obtener datos iniciales para el diseño de todo el sistema de riego, aquí se realiza un análisis del terreno donde se analiza las capacidades del suelo en cuanto a la absorción del agua. Luego está el suministro de agua, la calidad de la fuente y sobre todo la disponibilidad de la fuente es esencial para determinar la frecuencia de riego. Finalmente, conocer los cultivos y sus necesidades de agua ya que un rociador con grandes gotas de agua podría dañar cultivos delicados.

### **Selección de rociadores**

Para una selección correcta del rociador se deben tener en cuenta factores como la presión de funcionamiento, el tamaño y la forma del terreno.

### **Disposición de parcelas y cobertura de los rociadores**

La zona por regar debe estar cubierta en su totalidad y las áreas regadas por los rociadores deben superponerse entre sí, pareciendo desperdicio de agua, sin embargo, es una necesidad ya que, sin esto, sería imposible diseñar un sistema de riego sin una cobertura uniforme, por lo que se debe considerar el área de regado de los rociadores, la geometría del cultivo, distancia entre tuberías.

## **2.3.2 Diseño del sistema de riego por goteo**

Para el diseño de un sistema de riego por goteo para un cultivo determinado, se realizan los siguientes pasos:

- Estudio del terreno
- Revisión de la calidad de agua
- Tipo de suelo
- Selección del emisor
- Tipo de cultivo y necesidad máxima de agua
- Diseño de las líneas de tuberías
- Selección de la bomba
- Selección del motor principal

### **Estudio del terreno**

El estudio de la zona en donde se va a instalar el sistema de riego, se deben analizar datos como la topografía del terreno, posición de la unidad o unidades de bombeo, disponibilidad de riego, cultivos que se van a sembrar, demarcación de la zona, etc.

### **Revisión de la calidad de agua**

El agua sale de las tuberías por medio de emisores, estos como tienen aberturas pequeñas tienden a obstruirse si partículas pequeñas se alejan en la salida incluso sales en el agua podrían perjudicar el sistema, por lo que la calidad del agua es un factor para considerar.

### **Tipo de suelo**

El análisis del tipo de suelo ayuda a determinar la selección de emisores ya que estos dependen de las propiedades físicas del suelo.

### **Cálculo del requerimiento hídrico**

El requerimiento hídrico de los cultivos proporciona el volumen de agua necesario durante toda su etapa de desarrollo, por lo cual se calculó este valor por medio del programa Cropwat 8.0 con licencia gratuita para obtener los datos iniciales y mediante las siguientes ecuaciones se obtuvo el volumen de cada cultivo.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (2.1)$$

Donde:

$ET_o$  = Evapotranspiración del cultivo de interés [mm/día]

$ET_c$  = Evapotranspiración del cultivo de interés (obtenido directamente del programa de Cropwat 8.0) [mm/día]

$ET_o$  = Evapotranspiración del cultivo de referencia, expresada en mm/día.

$K_c$  = Coeficiente del cultivo

$$RR = \frac{ET_c}{Eficiencia\ de\ riego} \times 100 \quad (2.2)$$

Donde:

$RR$  = Requerimiento de Riego [mm/día]

*Eficiencia de riego*: 85% para el aspersor

$ET_c$  = Evapotranspiración del cultivo de interés [mm/día]

Volumen de agua por planta:

$$G = \left(\frac{RR}{f}\right) \times Sp \times Sl \quad (2.3)$$

Donde:

$G$  = Volumen de agua por planta [ L/planta/día]

$RR$  = Requerimiento de riego [mm]

$f$  = Frecuencia de riego. Usualmente es 1 lo cual significa que se regará todos los días, además por efecto de las lluvias este valor puede cambiar.

$Sp$  = Distancia entre plantas [m]

$Sl$  = Distancia entre laterales de riego (hileras) [m]

(Briceño, Álvarez, & Barahona, 2013)

**Tiempo de riego en el día:** 8 horas

El sistema de riego se estableció en 2 turnos de 4 horas para conseguir que la tasa de infiltración permisible del suelo sea mayor a la tasa de aplicación y evitar así daños a los cultivos.

## 2.4 Diseño hidráulico del sistema de riego

### 2.4.1 Criterio de selección de bomba

Previo a la selección de la bomba se debe fijar el diseño de forma del sistema de riego a implementar, tomando en cuenta la longitud de la tubería, tipo y cantidad de accesorios, altitud desde el punto inicial hasta el final. Con el fin de modelar los cálculos del sistema con la ecuación de energía de flujo estacionario o también conocida como ecuación de Bernoulli modificada, donde se consideran las pérdidas de energía por fricción, energía del flujo, energía externa (bombas o turbina), energía cinética y potencial. Esta ecuación se puede representar en términos de cargas, considerando valores de cabezal de agua para un mejor análisis, teniendo la siguiente ecuación según (ÇENGEL & CIMBALA, 2006).

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_{bomba} = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{turbina} + h_l \quad (2.4)$$

Donde:

$P_1, P_2$  = Presión en punto 1 y 2 [Pa]

$V_1, V_2$  = Velocidad promedio en punto 1 y 2 [m/s]

$\alpha_1, \alpha_2$  = Factor de corrección de energía cinética en punto 1 y 2  
[adimensional]

$g$  = Gravedad [m/s<sup>2</sup>]

$\rho$  = Densidad del fluido [Kg/m<sup>3</sup>]

$z_1, z_2$  = Diferencia de altura con respecto a un nivel de referencia común en  
punto 1 y 2 [m]

$h_{bomba}$  = Carga de bomba útil entregada al fluido [m]

$h_{turbina}$  = Carga de turbina extraída del fluido [m]

$h_l$  = Pérdida de carga irreversible en punto 1 y 2

#### 2.4.1.1 Consideraciones de diseño y asunciones

- Para el análisis de selección de bomba se utilizó la ecuación de Bernoulli mejorada, considerando la superficie del río como punto de inicio y la salida de los aspersores como punto final.
- Se consideró el mismo tipo de aspersor en todo el sistema.
- Se seleccionó un aspersor que abarca un diámetro de riego de aproximadamente 13 metros a una presión de 1.69 bares.
- El punto de succión se consideró como un reservorio natural con un área mucho mayor al punto de descarga por lo tanto la velocidad en dicho punto tiende a 0.
- El sistema hidráulico se dividió en 4 secciones, donde la sección 1 tiene una tubería con diámetro de 3", la sección 2 de diámetro 2", la sección 3 de diámetro 1" y la sección 4 de diámetro de ½".
- El factor de pérdida en tubería  $f$  se lo obtuvo por medio de la gráfica de Moody con el valor de entrada del coeficiente de Reynolds.

**Tabla 2.4 Condiciones y propiedades de diseño** [Elaboración propia].

Propiedades	Valor	Unidad
Densidad del agua @25°C	910	Kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad dinámica del agua	0.00891	Kg/ (m s)
Gravedad	9.8	m/s <sup>2</sup>
Diferencia de altura	26.4	m
Presión de entrada	101325	pascales
Velocidad de entrada	0	m/s <sup>2</sup>
Presión en el aspersor	186000	pascales

#### 2.4.1.2 Formula de pérdidas de energía

Dentro del análisis de energía, Se consideran las pérdidas mayores generadas por la fricción entre el fluido y la tubería a lo largo de todo el sistema. También se tienen las pérdidas menores generadas por cambios de secciones o geometrías de los accesorios.

Para el cálculo de las pérdidas mayores se tiene la siguiente ecuación:

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{prom}^2}{2} \quad (2.5)$$

Donde:

$\Delta P_L$  = Pérdida de presión entre punto 1 y 2 [Pa]

$f$  = Factor de fricción [adimensional]

$L$  = Longitud de la sección de tubería [m]

$D$  = Diámetro de la sección de tubería [m]

$\rho$  = Densidad del fluido [Kg/m<sup>3</sup>]

$V_{prom}$  = Velocidad promedio de la sección [m/s]

Y para las pérdidas menores, las cuales corresponden a los accesorios de todo el sistema de riego:

$$h_L = \frac{v^2}{2g} (K_T) \quad (2.6)$$

Donde:

$h_L$  = Pérdida de carga [m]

$v$  = Velocidad promedio de la sección [m/s]

$g$  = Gravedad [m/s<sup>2</sup>]

$K_T$  = Constante de pérdida de accesorio [adimensional]

$f$  es el factor de fricción de Darcy Weisbach, que para el fluido agua en tuberías  $f=0,0186$  según cálculos precedidos mediante CFD - realizados por Cengel. Pero si se requiere un cálculo más real del factor de fricción se puede utilizar la ecuación de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[ \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} \right)^{1.1} \right] \quad (2.7)$$

Donde:

$f$  = Factor de fricción [adimensional]

$Re$  = Número de Reynolds [adimensional]

$\varepsilon$  = Rugosidad del material de la tubería [mm]

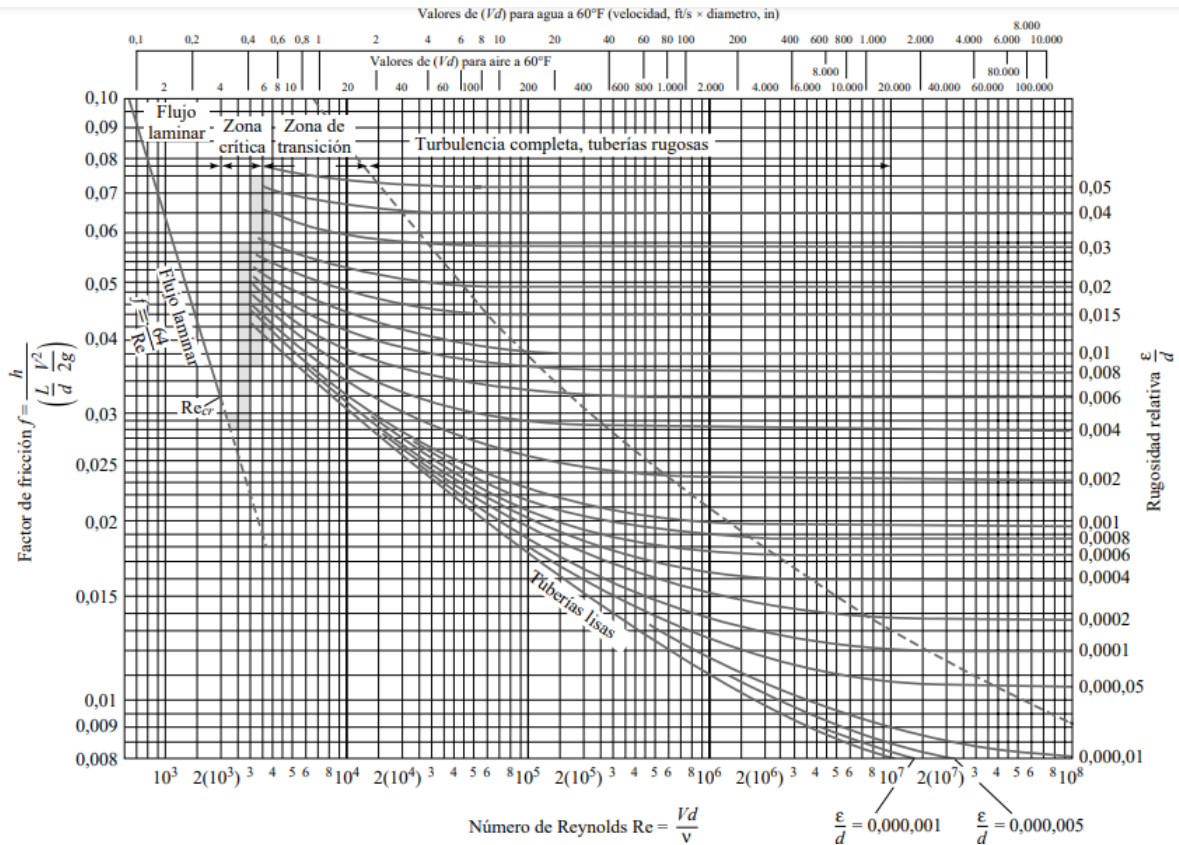
$D$  = Diámetro de la sección de tubería [mm]

**Tabla 2.5 Rugosidad de los materiales de tubería** [ÇENGEL, Y. A., & CİMBALA, J. M. (2006). MECÁNICA DE FLUIDOS]

Material	Rugosidad $\varepsilon$	
	ft	mm
Concreto	0.003-0.03	0.9-9
Duela de madera	0.0016	0.5
Hule alisado	0.000033	0.01
Tubería de cobre o latón	0.000005	0.0015
Vidrio o plástico	0 (liso)	
Acero comercial	0.00015	0.045

Ferry Moody nos facilitó el trabajo para el cálculo del factor de fricción, representando curvas del factor de fricción en función del coeficiente de Reynolds, esto se puede observar en la figura 2.2.





**Figura 2.2 Diagrama de Moody** [Mecánica de fluidos (Quinta edición). España: McGraw-Hill].

Dentro del análisis de selección de bombas se debe considerar la altura neta de succión en metros de agua (NPSH), que no es más que la carga máxima de entrada que puede tener la bomba para evitar que esta cavite. La cavitación es la ruptura de un líquido o de un interfaz fluido-sólido causada por una reducción de la presión estática local producida por la acción dinámica del fluido en el interior y/o en las fronteras de un sistema líquido, la ruptura es la formación de una burbuja visible.

La cavitación debe evitarse en las aplicaciones de flujo de fluidos porque arruina el rendimiento hidrodinámico (Cengel, 2006). Para prolongar la vida útil de la bomba y de los accesorios se debe evitar la cavitación, ya que la implosión de estas burbujas deteriora la superficie de estas.

$$\begin{aligned}
h_{bomba} = & \frac{(Q/A_{1/2''})^2}{2g} + \Delta Z + \left[ f \frac{L(Q/A_{3''})^2}{2gD} + \frac{(Q/A_{3''})^2}{2g} (K_T) \right]_{\phi=3''} \\
& + \left[ f \frac{L(Q/5A_{2''})^2}{2gD} + \frac{(Q/5A_{2''})^2}{2g} (K_T) \right]_{\phi=2''} \\
& + \left[ f \frac{L(Q/5A_{1''})^2}{2gD} + \frac{(Q/5A_{1''})^2}{2g} (K_T) \right]_{\phi=1''} \\
& + \left[ f \frac{L(Q/20A_{1/2''})^2}{2gD} + \frac{(Q/20A_{1/2''})^2}{2g} (K_T) \right]_{\phi=1/2''}
\end{aligned} \tag{2.8}$$

#### 2.4.2 Curvas del catálogo de bombas (curva de referencia)

Se tiene unos límites de trabajo según el tipo de bomba a utilizar, que varían dependiendo el tipo de bomba y nos da una mejor perspectiva al momento de seleccionar el equipo

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Selección de tubería

El terreno tiene 1,5 Ha, dividido en 4 parcelas de 0,375 Ha. Para el recorrido se seleccionaron tuberías de PVC, que va desde el río Alamor, hasta el área de riego. Los diámetros nominales utilizados se detallan en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Diámetro de las tuberías seleccionadas** [Janna, 2015]

Nominal	Diámetro exterior cm	Diámetro interior cm	Área de Flujo cm <sup>2</sup>
75	8.890	7.792	47.69
50	6.034	5.252	21.66
25	3.340	2.664	5.574
12,5	2.134	1.580	1.961

### 3.2 Perdidas mayores y menores

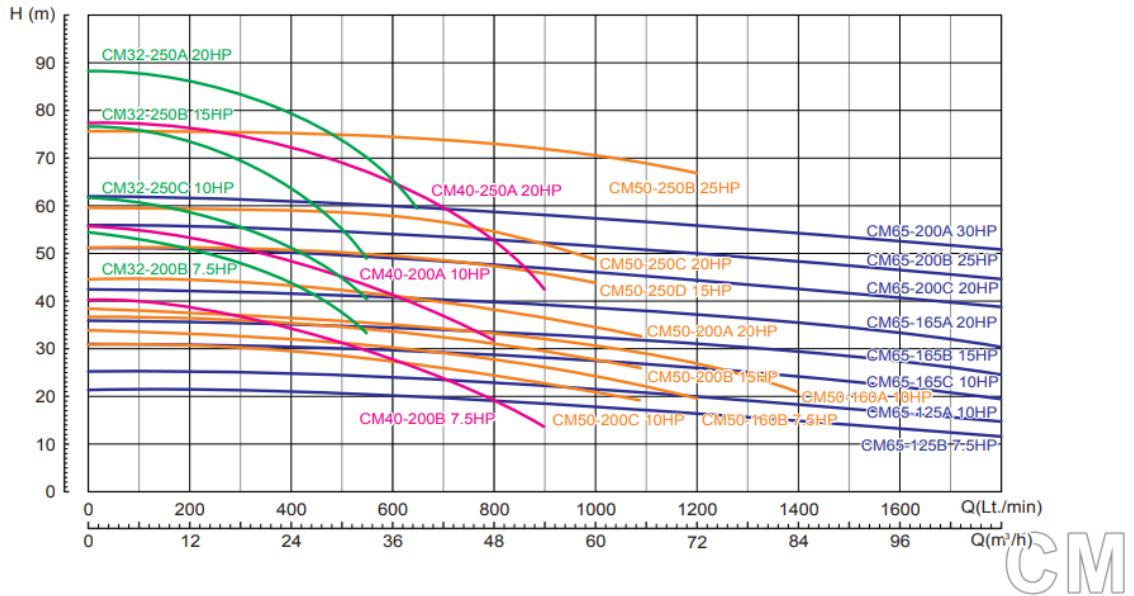
Las perdidas mayores y menores se calcularon en base a las ecuaciones 2.6 y 2.7 respectivamente y están representadas en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Pérdidas mayores y menores en el sistema de tuberías** [Elaboración propia]

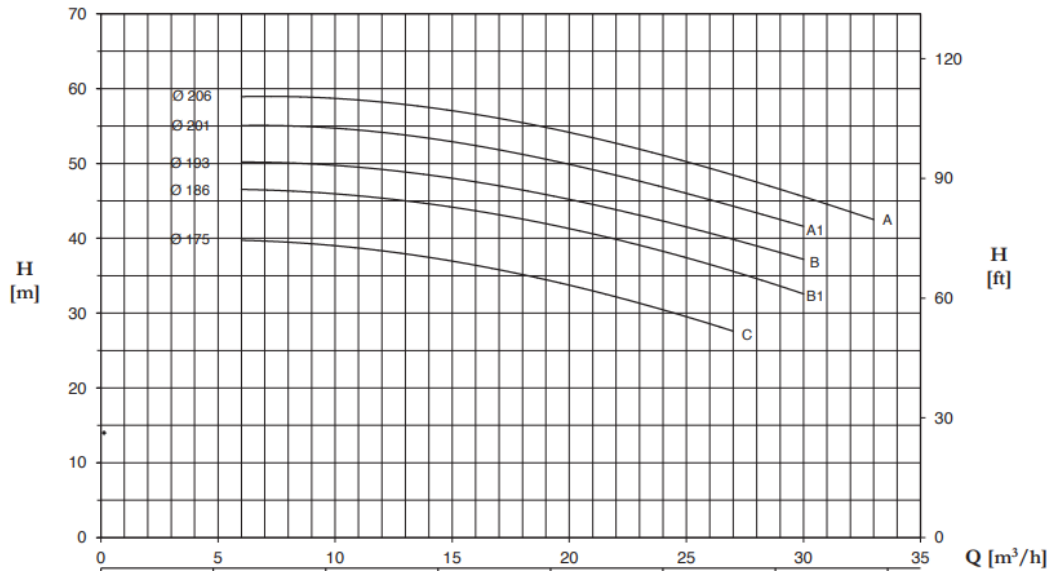
Coeficiente de Pérdida	Sección 1 75 mm	Sección 2 50 mm	Sección 3 25 mm	Sección 4 12,5 mm
Pérdidas mayores	0.1	5.5	3.3	0.9
Pérdidas menores	0.3	6.3	0.6	0.01

**Tabla 3.3 Requerimientos del sistema** [Elaboración propia]

Descripción	Valor	Unidades
Cabezal	48	m
Caudal	200	L/min



**Figura 3.1 Curvas de selección de Bomba** [Bombas centrífugas línea CM  
www.electromecanicamm.com.ar]



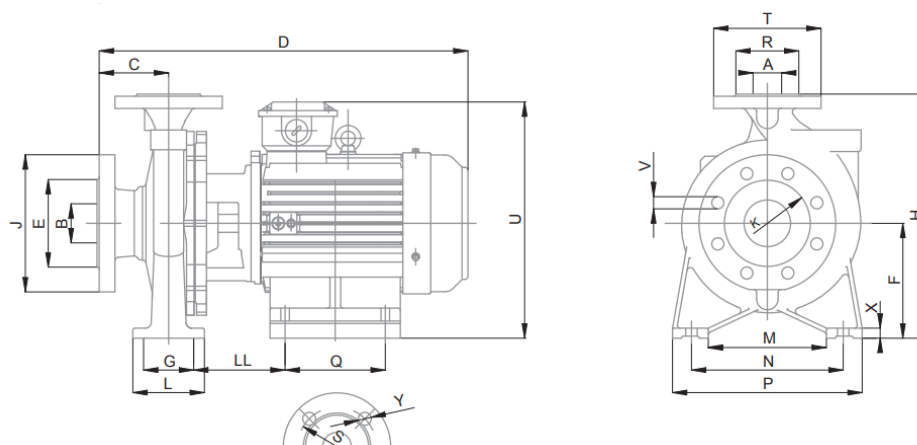
**Figura 3.2 Curvas de bomba CM32-200** [Bombas centrífugas línea CM  
www.electromecanicamm.com.ar].

**Tabla 3.4 Propiedades de la bomba seleccionada** [Elaboración propia].

Descripción	Valor	Unidades
Cabezal Máximo	50.1	m
Caudal Máximo	500	L/min
Eficiencia Máxima	50	%
Potencia	7.5	HP

**Tabla 3.5 Parámetros Técnicos Bomba CM 32-200 B 7.5 HP [Elaboración propia].**

Modelo	Potencia		Q (m³/h – L/min)										
	HP		0	6	7.5	9	12	15	18	21	24	27	30
				0	100	125	150	200	250	300	350	400	450
H (m)													
<b>CM 32-200 B</b>	7.5		50.1	50.2	50.1	49.9	49.3	48.0	46.4	44.5	42.4	39.8	37.2



MODELO	POTENCIA (HP)	BRIDAS		MEDIDAS (mm)																	Peso kg						
		ASP	IMP	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	LL	M	N	P	Q	R		S	T	U	V	X	Y
CM 32-200B	7.5	2"	1 1/4"	32	50	80	580	102	165	70	340	165	125	100	155	140	190	240	140	78	100	140	370	19	15	19	87

**Figura 3.3 Dimensiones de la bomba CM seleccionada [Catálogo de Bombas Centrífugas línea CM].**

**Tabla 3.6 Parámetros de trabajo de la bomba [Elaboración propia].**

Descripción	Valor	Unidades
Cabezal	49.3	m
Caudal	200	L/min
Eficiencia	45	%
Potencia	6.0	HP

### 3.3 Plano hidráulico del sistema de riego

Imagen representativa del sistema de riego, donde el punto inicial es el río Alamor y se transporta el fluido hasta el punto final que son los cultivos.

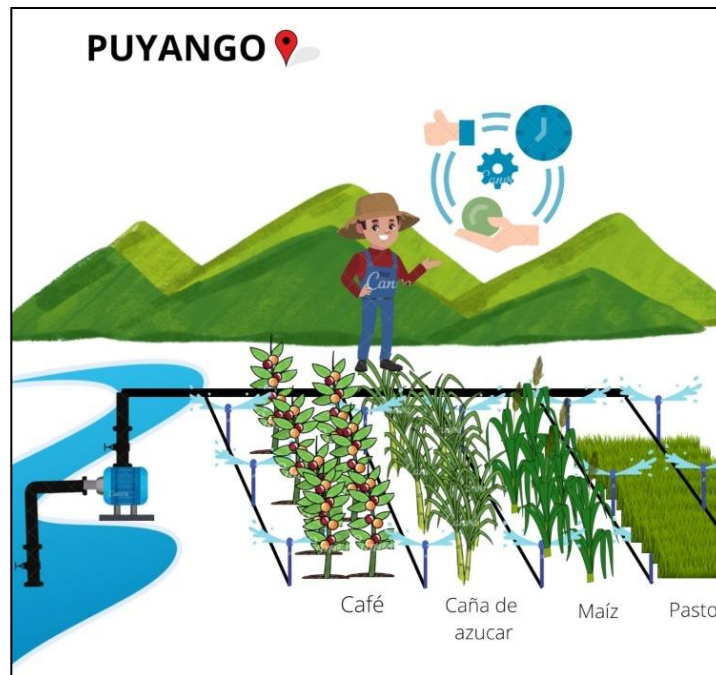


Figura 3.4 Imagen representativa del sistema de riego [Elaboración propia].

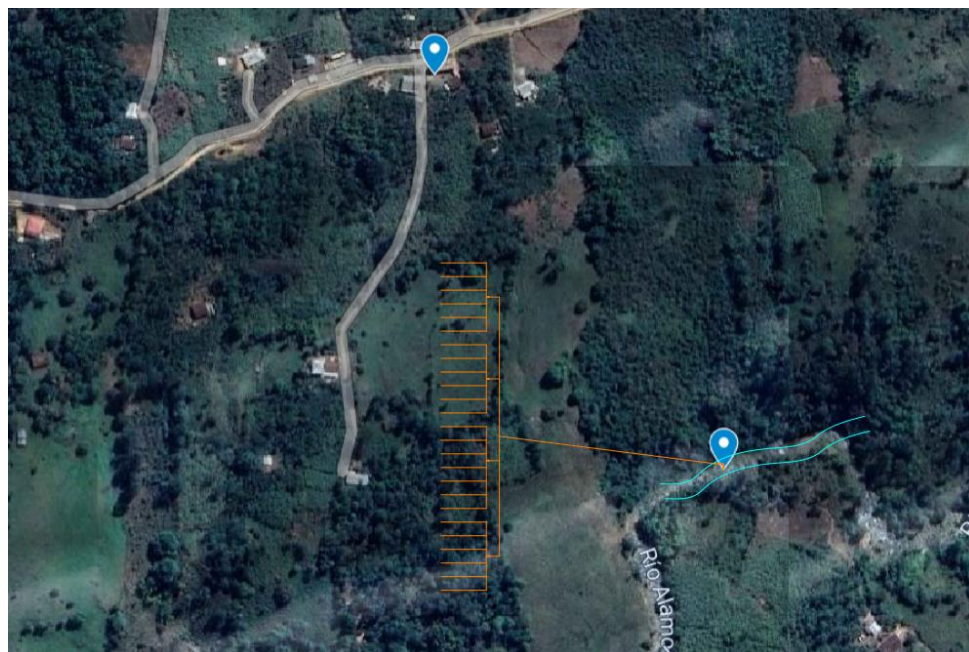
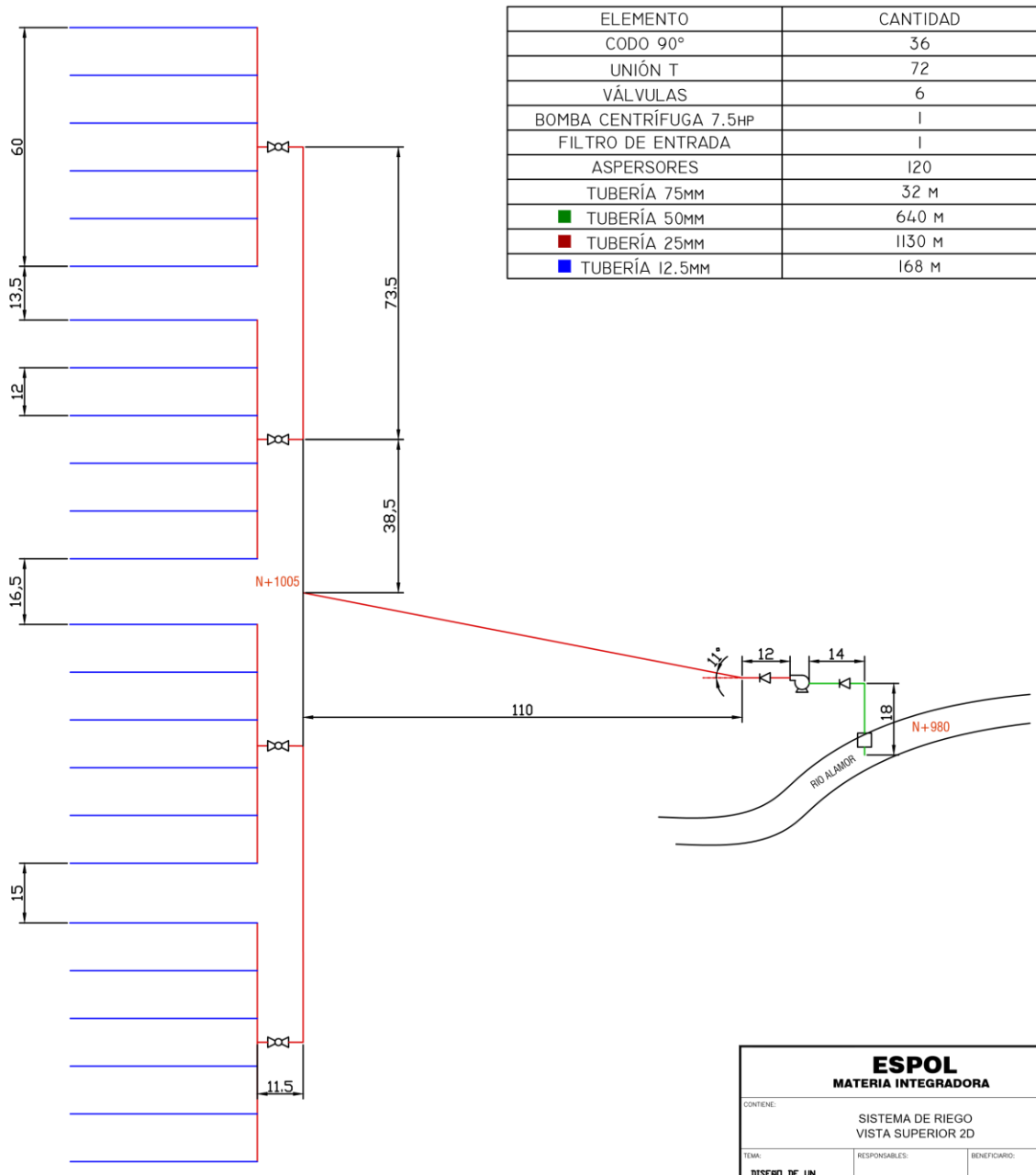


Figura 3.5 Ubicación del sistema de riego en Alamor, Puyango [Elaboración propia].

El tiempo de funcionamiento se dividió en dos turnos de 4 horas cada uno. El primero consta de una serie continua de riego de 240 minutos para todas las parcelas. Para abastecer con los requerimientos hídricos de cada cultivo, se completa el riego con el segundo turno donde se riega 174 minutos todas las parcelas, luego se cierra la llave 1 correspondiente al café y se continúa regando durante 50 minutos las parcelas restantes. Con dicho tiempo se abastecen los cultivos de maíz y caña, por lo que se cierra la llave 2 y 3 para finalmente abastecer al pasto.

# SISTEMA DE RIEGO ALAMOR-PUYANGO



ELEMENTO	CANTIDAD
CODO 90°	36
UNIÓN T	72
VÁLVULAS	6
BOMBA CENTRÍFUGA 7.5HP	1
FILTRO DE ENTRADA	1
ASPERSORES	120
TUBERÍA 75MM	32 M
■ TUBERÍA 50MM	640 M
■ TUBERÍA 25MM	1130 M
■ TUBERÍA 12.5MM	168 M

<b>ESPOL</b> <b>MATERIA INTEGRADORA</b>			
CONTIENE:			
SISTEMA DE RIEGO VISTA SUPERIOR 2D			
TEMA:	RESPONSABLES:	BENEFICIARIO:	
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA LOS PRINCIPALES CULTIVOS DE LA ZONA PUYANGO, LOJA	DUVAL JARAMILLO LUIS VEGA	COMUNIDAD ALAMOR	
TUTOR:	UNIDADES:	REVISIONES:	LAMINA:
PHD MIGUEL CALUMBAQUI	metro	Msc. DANIEL AVILES	AA-01
FECHA:	DIGITADOR:		
05/08/2022	LUIS VEGA		

Plano 3.1 Sistema de Riego [Elaboración propia].



### 3.4 Listado de Componentes

La siguiente tabla corresponde a un listado de componentes necesarios en el diseño del sistema de riego. Contiene los accesorios, diámetros de tuberías y el sistema motriz. Los accesorios descritos en la tabla 3.4 son requerimientos directos de nuestro sistema, ya que dependiendo de la distribución del diseño se va a necesitar diferente tipo de accesorios, tal como se muestra en la tabla 3.7.

La selección del tipo de tubería se centró en un análisis netamente de costos y pérdidas energía, para obtener un sistema con bajas pérdidas de energía es necesario colocar tuberías de mayor diámetro, pero se debe considerar que a mayor diámetro el costo de tubería aumenta. entonces procedimos a realizar un diseño descendente, a medida que reduce el caudal, el diámetro de tubería también y con ello mantenemos un sistema económico y con pérdidas de energía bajas.

**Tabla 3.7 Listado de componentes del sistema de riego** [Elaboración propia].

Elemento	Cantidad
Codo PVC, d=75 mm, 90°	1
Válvula Check de 3 pulgadas	1
Válvula Check de 2 pulgadas	1
Válvula esfera roscable PVC d=50mm	4
Filtro de entrada	1
Tee PVC d=50 mm	23
Codo PVC, d=50 mm, 90°	10
Reductor 50 mm a 25 mm PVC	24
Tee PVC d=25 mm	96
Codo PVC, d=25 mm, 90°	24
Unión de 1"	120
Aspersores	120
Manguera para succión d=75mm x1m	3
Tubo PVC 75mm / CLASE 5 x6m	5
Tubo PVC 50mm / CLASE 6 x6m	109
Tubo PVC 25mm /CLASE 12 x6m	196
Tubo roscable 12,5 mm x 6m	28
Bomba centrífuga	1
Instrumentación	3

### 3.5 Características de la zona y de los cultivos.

Para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), se realizó mediante los datos meteorológicos de cada mes en el cantón Puyango por medio del software CROPWAT 8.0, datos que se encuentran en la tabla 3.6.

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET <sub>o</sub>
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m <sup>2</sup> /día	mm/día
Enero	18.7	24.8	86	144	4.6	16.5	3.25
Febrero	19.0	24.5	89	139	4.7	17.0	3.24
Marzo	19.1	24.8	89	141	5.2	17.7	3.35
Abril	19.1	25.0	89	163	5.0	16.5	3.15
Mayo	18.6	25.1	88	204	4.7	15.0	2.91
Junio	17.7	25.2	85	273	4.6	14.2	2.93
Julio	17.2	25.8	81	312	5.0	15.0	3.31
Agosto	17.2	26.6	77	288	5.0	16.0	3.73
Septiembre	17.5	26.5	77	216	4.4	16.0	3.65
Octubre	17.6	26.1	78	160	3.8	15.4	3.41
Noviembre	17.7	26.0	78	148	4.0	15.6	3.39
Diciembre	18.3	25.6	82	144	4.6	16.3	3.36
Promedio	18.1	25.5	83	194	4.6	15.9	3.30

Figura 3.6 Datos meteorológicos del Cantón Puyango [Software CROPWAT 8.0].

Dentro de las especificaciones de los cultivos y de la zona, se tomó en cuenta la evapotranspiración máxima calculada en el programa CROPWAT, al igual que el coeficiente de cultivo se consideró el K<sub>c</sub> máximo que es cuando el cultivo está en su etapa de desarrollo. También se fijó distancias de siembra para cada cultivo, todos estos datos nos permitieron calcular los volúmenes de agua requerida por día (tabla 3.8).

Tabla 3.8 Especificaciones principales de los cultivos y de la zona de estudio

[Elaboración propia].

Cultivo	ET <sub>o</sub> [mm/día]	K <sub>c</sub>	Distancia entre planta [m]	Distancia entre surcos [m]
Café	3.73	1.30	3.00	3.00
Caña	3.73	1.54	1.50	2.00
Maíz	3.73	1.40	0.50	1.00
Pasto	3.73	1.00	0	0

En la tabla 3.9 se muestra el volumen de agua que necesita cada cultivo por día. Para evitar problemas de infiltración de suelo se fijan 2 turnos de 4 horas. Por lo tanto, se va a regar todo ese volumen de agua en 8 horas.

**Tabla 3.9 Requerimiento Hídrico de los principales cultivos del cantón Puyango** [Elaboración propia].

<b>Cultivo</b>	<b>Volumen agua al día [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Caudal [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Caudal [m<sup>3</sup>/s]</b>
Café	20.736	2.6	0.0007
Caña	24.087	3.0	0.0008
Maíz	23.828	3.0	0.0008
Pasto	26.25	3.3	0.0009

### 3.6 Análisis de costos

Los valores a continuación muestran los elementos necesarios para la instalación del sistema de riego diseñado. Se han separado los costos en accesorios, metros de tubería, requerimientos varios y elementos del sistema motriz.

#### 3.6.1 Costos Directos

El tipo de tubería seleccionada es del tipo pegable y dichos precios fueron cotizados en ferreterías grandes y con precio al por mayor.

**Tabla 3.10 Costos de los accesorios del Sistema de Riego** [Elaboración propia].

Elemento	Cantidad	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)
Codo 90° PVC 75mm	1	\$ 4,30	\$ 4,30
Reductor PVC 75mm a 50mm	4	\$ 2,00	\$ 2,00
Válvula check de 75mm	1	\$ 27,00	\$ 27,00
Válvula check de 50mm	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Manguera para succión pvc 75mm	2	\$ 18,00	\$ 18,00
Válvula esférica roscable PVC 50mm	4	\$ 13,00	\$ 13,00
Filtro entrada	1	\$ 70,00	\$ 70,00
Tee PVC d=50 mm	22	\$ 3,20	\$ 3,20
Codo 90° PVC 50 mm	10	\$ 4,11	\$ 4,11
Reductora 50 mm a 25 mm pvc	25	\$ 1,25	\$ 1,25
Tee pvc d=25 mm	50	\$ 2,60	\$ 2,60
Codo pvc, d=25 mm, 90°	25	\$ 1,15	\$ 1,15
Unión de 1"	50	\$ 2,10	\$ 2,10
Aspersores	120	\$ 4,50	\$ 4,50
Unión roscable 1/2"	75	\$ 0,58	\$ 0,58
<b>Costo Total</b>			<b>\$ 1.212,30</b>

**Tabla 3.11 Tuberías del Sistema de Riego** [Elaboración propia]

Elemento	Cantidad	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)
Tubo PVC 75mm / CLASE 5 X6m	6	\$ 25,00	\$ 150,00
Manguera de succión PVC de 75 mm x metro	1	\$ 18,00	\$ 18,00
Tubo PVC 50mm / CLASE 6 X6m	109	\$ 8,77	\$ 955,93
Tubo PVC 25mm /CLASE 12 x6m	196	\$ 3,00	\$ 588,00
Tubo roscable 12,5 mm	18	\$ 8,78	\$ 158,05
<b>Costo Total</b>			<b>\$ 1.869,98</b>

**Tabla 3.12 Elementos del Sistema Motriz** [Elaboración propia]

Elemento	Cantidad	P. Total (USD)
Bomba Centrífuga 7.5 HP	1	\$ 1,200.00
Instrumentación	-	\$ 100.00
<b>Costo Total</b>		<b>\$ 1,300.00</b>

**Tabla 3.13 Requerimientos varios** [Elaboración propia]

Elemento	Cantidad	Unidad	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)
Kalipega para tubos PVC	2	L	\$ 23.00	\$ 46.00
Cemento	1	Un	\$ 8.50	\$ 8.50
Arena	1	Saco	\$ 1.00	\$ 1.00
Piedra	1	Saco	\$ 2.00	\$ 2.00
Perfil en G 60x30x15 1,5 mm HRC	1	m	\$ 8.60	\$ 8.60
Plancha de Zinc x 2400 mm	1	Un	\$ 5.00	\$ 5.00
			<b>Costo Total</b>	<b>\$ 54.50</b>

Sánchez, P. nos informó que “el financiamiento de un proyecto hídrico realizado en la zona fue netamente inversión del gobierno, y que el gobierno les provee semillas y capacitaciones” con el fin de beneficiar el estilo de vida de las personas.

### 3.6.2 Costos indirectos

El grupo de costos indirectos hace referencia a los costos que no se reflejan directamente en la construcción del sistema; sin embargo, sí que son necesariamente empleados para su instalación. Para los siguientes valores se consideró la contratación de 3 hombres durante 2 semanas con un costo de alimentación de \$2.50 por almuerzo más un promedio de 4 bidones de agua a la semana con un valor aproximado de \$2.00 por bidón. Para la instalación y prueba del sistema de riego se consideró un costo de \$ 0.75 por metro con una longitud total de 1936 metros de tubería.

**Tabla 3.14 Costos de Mano de Obra** [Elaboración propia]

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Total
Instalador	metro	1936	\$ 0.75	\$ 1,452.00
Alimentación	semana	2	\$ 55.00	\$ 110.00
			<b>Total</b>	<b>\$ 1562.00</b>

### **3.7 Retorno de Inversión**

Inicialmente se estudió la capacidad productiva del: maíz, café, caña y pasto. “Se conoce que el cultivo de la caña de azúcar tiene una producción promedio de 105,9 toneladas por hectárea” (CINCAE, 2015). “El café tiene una producción de 1,5 kg por planta” (Lema et al., 2005). “El maíz tiene una producción de 7,5 toneladas por hectárea equivalente a 75 quintales por hectárea” (Ministerio de agricultura y ganadería, 2021). Cada cultivo se va a sembrar en 0,375 hectáreas se realizó una estimación de producción la cual se fija en la tabla 3.12 columna 3.

También se realizó un estudio en el mercado agrícola para estimar los ingresos que se obtendrán en un periodo de 8 años. Se obtuvieron todos los precios del mercado de los cultivos en cuestión donde el café varía entre \$ 250 y \$300 dependiendo de la variedad de producto cosechado, el maíz lo comercializa en \$16 el quintal, la caña de azúcar se vende entre \$31 y \$35 la tonelada y el pasto lo vende en \$15 los 100 m<sup>2</sup>.

Teniendo en cuenta que la caña de azúcar se cosecha cada 11 meses, el café se realiza una cosecha al año, el maíz se cosecha cada 4 meses y el pasto se aprovecha pasando un mes, Se realizó una estimación del retorno de inversión.

#### **Primer año**

Para tener un conocimiento más detallado sobre las ganancias totales del año 1, se debe tener presente que el café al ser un cultivo perenne con cosecha a partir del 2<sup>do</sup> o 4<sup>to</sup> año en adelante, no se obtiene ganancia de este cultivo para el primer año. El resto de los cultivos son anuales, es decir que su ciclo vegetativo se completa en el mismo año de la siembra. Adicional consideramos rotar ciertos cultivos para evitar problemas por monocultivo.

**Tabla 3.15 Ingresos Primer año de siembra** [Elaboración propia].

Productos cosechados	Área de cultivo Ha	Cantidad Producida por área	Unidad	Precio por unidad (USD)	Total al año (USD)
Café	0,375	5.76	Quintal	\$ 300.00	\$ 0.00
Caña	0,375	39.72	Tonelada	\$ 31.00	\$ 1,231.32
Maíz	0,375	18.75	Quintal	\$ 16.00	\$ 900.00
Pasto	0,375	4	Cuadros	\$ 15.00	\$ 360.00
<b>Total de ingresos</b>					<b>\$ 2,491.32</b>

### Segundo año

Para el segundo año se va a tener un cultivo de café más desarrollado lo cual le va a permitir obtener ganancias, y el resto de los cultivos mantenemos el mismo periodo de producción explicado en el año 1.

**Tabla 3.16 Ingresos Segundo Año de siembra** [Elaboración propia]

Productos cosechados	Área de cultivo Ha	Cantidad Producida por área	Unidad	Precio por unidad (USD)	Total al año (USD)
Café	0,375	5	Quintal	\$ 300	\$ 1500,00
Caña	0,375	39.72	Tonelada	\$ 31	\$ 1231.32
Maíz	0,375	18.75	Quintal	\$ 16	\$ 900,00
Pasto	0,375	4	Cuadros	\$ 15	\$ 360,00
<b>Total de ingresos</b>					<b>\$ 3,991.32</b>

### Tercer año

Para el tercer año se tiene un cultivo de café completamente desarrollado, por lo que la producción aumenta a quintales por parcela y el resto de los cultivos se mantiene con el mismo ritmo de producción. Teniendo en cuenta que todos los cultivos han alcanzado su grado de madurez, esta proyección se va a ir replicando cada año hasta llegar al octavo.

**Tabla 3.17 Ingresos Tercer Año de siembra** [Elaboración propia]

Productos cosechados	Área de cultivo Ha	Cantidad Producida por área	Unidad	Precio por unidad (USD)	Total al año (USD)
Café	0,375	8	Quintal	\$ 300	\$ 2400
Caña	0,375	39.72	Tonelada	\$ 31	\$ 1231.32
Maíz	0,375	18.75	Quintal	\$ 16	\$ 900
Pasto	0,375	4	Cuadros	\$ 15	\$ 360
<b>Total de ingresos</b>					<b>\$ 4891.32</b>

### 3.8 TIR & VAN

Se realizó un análisis de rentabilidad mediante el TIR y el VAN, proyectado a 8 años.

**Tabla 3.18 Tasa Interna de Retorno y Valor Actual Neto** [Elaboración propia]

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
<b>Total Ingresos</b>		\$ 2.491	\$ 3.991	\$ 4.891	\$ 4.891	\$ 4.891	\$ 4.891	\$ 4.891	\$ 4.891
<b>Total Egresos</b>		\$ 1.863	\$ 1.863	\$ 1.863	\$ 1.863	\$ 1.863	\$ 1.863	\$ 1.863	\$ 1.863
<b>Inversión inicial</b>									
<b>Gastos de Capital</b>	\$ 6.035								
<b>Capital de Trabajo</b>	\$ 1.720								
<b>Otros Costos</b>									
<b>Flujo Neto</b>	\$ -7.755	\$ 628	\$ 2.128	\$ 3.028	\$ 3.028	\$ 3.028	\$ 3.028	\$ 3.028	\$ 3.028
<b>Saldo actualizado 12%</b>	\$ -7.755	\$ 561	\$ 1.696	\$ 2.155	\$ 1.924	\$ 1.718	\$ 1.534	\$ 1.370	\$ 1.223
<b>Saldo actualizado acumulado</b>	\$ -7.755	\$ -7.194	\$ -5.498	\$ -3.342	\$ -1.418	\$ 300	\$ 1.834	\$ 3.204	\$ 4.427
<b>TASA</b>	12%								
<b>TIR</b>	24%								
<b>VAN</b>	\$4.427								

En el año cero se tiene la puesta en marcha del proyecto donde se engloban todos los costos de materiales y mano de obra para instalar todo el sistema de riego.

Dentro del análisis de rentabilidad se tiene un costo de capital fijo desde el año cero hasta el octavo año donde se incluyen los gastos de consumo eléctrico de la bomba, y adicional la mano de obra para mantenimiento y recolección de los cultivos. Cabe recalcar que los moradores del lugar tienen cultivos 100% orgánicos y los fertilizantes implementados los realizan de manera artesanal.

Se observó que la tasa interna de retorno TIR es mayor a cero, lo que representa que el proyecto es rentable y se obtiene un 24% de ganancias. Este valor es referencial para un sistema de riego, pero si se analiza la posibilidad de implementar un sistema adicional compartiendo la misma bomba este valor subiría al 30% ya que la bomba tiene un coste del 22% del total del proyecto.



# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Los principales cultivos de la zona de Alamor, cantón Puyango se obtuvieron mediante un estudio estadístico del plan de ordenamiento territorial de Puyango, donde su mayor concentración está dada por el café, maíz, caña y el pasto, siendo este último, el principal cultivo para la alimentación agropecuaria.
- Se seleccionó el método de riego por presurización, debido a la eficiencia del recurso hídrico, durabilidad del sistema, condiciones ambientales del lugar, frecuencia de mantenimiento y una gran adaptabilidad del sistema en el lugar. Con el fin de tener una mayor producción de los cultivos y mejorar la calidad de vida de las personas.
- El requerimiento hídrico de los principales cultivos de la zona se determinó por medio de la aplicación CROPWAT 8.0 en base a datos climatológicos del cantón Puyango y las propiedades del cultivo, dando como resultado un caudal necesario de 12 m<sup>3</sup>/h para regar los cultivos en un periodo de 8 horas por día.
- El terreno se dividió en 4 parcela de 75 m x 50 m asignando un cultivo en cada división, teniendo en cuenta que debe existir una rotación de cultivo por parcela cada año para evitar problemas de monocultivo a excepción del café ya que es un cultivo perenne. Este plan de cultivo va a generar ganancias anuales netas de \$ 4891 a partir de tercer año en adelante.
- Se diseñó un sistema de riego con una longitud total de 1970 metros, el cual consta de tuberías de diámetro de 3", 2", 1" y 1/2", codos de 90°, unión Tee, válvulas check y globo, filtro en la entrada de succión,

aspersores y una bomba centrífuga de 7.5 HP con un costo total de USD \$6035. El diseño tiene capacidad de expandirse a terrenos aledaños

#### **4.2 Recomendaciones**

Debido a la separación o distancia de siembra que se tiene en el cultivo de café, se puede sembrar especies compatibles con el café como el banano, cacao o guaba obteniendo un beneficio como cultivos asociados.

Si se requiere aplicar pesticidas o abonos solubles, se puede mejorar el diseño de riego, implementando un sistema de inyección basado en el principio de Venturi.

Para una futura réplica del sistema de riego en parcelas aledaña, se puede compartir la bomba ya instalada para reducir costos ya que la bomba solo es utilizada 1/3 del día y además representa el 22% del presupuesto total.

Se puede analizar la posibilidad de implementar sensores de humedad y automatizar el sistema de riego para tener un mejor control y eficiencia del sistema de riego ya que se va a regar solo cuando el cultivo lo requiera.

# BIBLIOGRAFÍA

- Bakhsh, A., & Choudhry, M. R. (enero de 2017). *Applied Irrigation Engineering*. Recuperado el 6 de julio de 2022, de [https://www.researchgate.net/publication/325780682\\_Pressurized\\_Irrigation\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/325780682_Pressurized_Irrigation_Systems)
- Baridón, E., & Villareal, J. (2017). *Cultivo del Banano*. Recuperado el 20 de junio de 2022
- Bayabil, H. K., Migliaccio, K. W., Dukes, M., & Vásquez, L. (julio de 2022). *AE539/AE539: Basic Tips for Designing Efficient Irrigation Systems*. Recuperado el 5 de julio de 2022, de <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AE539>
- Black, K. (15 de mayo de 2022). *What is an Irrigation System?* Recuperado el 8 de junio de 2022, de Home Questions Answered: <https://www.homequestionsanswered.com/what-is-an-irrigation-system.htm>
- ÇENGEL, Y. A., & CIMBALA, J. M. (2006). *MECÁNICA DE FLUIDOS*. The McGraw-Hill.
- CINCAE. (2015). *Centro de investigación de la caña de azúcar del Ecuador*. El triunfo: N°18 1-2.
- Crédito de las Oportunidades - BanEcuador*. (2022). Recuperado el 8 de junio de 2022, de BanEcuador: <https://www.banecuador.fin.ec/creditooportunidades/>
- Demin, P. E. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*. Recuperado el 19 de junio de 2022, de [https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta\\_aportes\\_para\\_el\\_mejoramiento\\_del\\_manejo\\_de\\_los\\_sistemas\\_de\\_riego.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf)
- G.A.D.M de Puyango. (noviembre de 2014). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN PUYANGO ACTUALIZACIÓN 2014*. Recuperado el 19 de junio de 2022, de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/PDOTPuyangoActualizaci%C3%B3nDiagn%C3%B3stico2014\\_14-11-2014.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/PDOTPuyangoActualizaci%C3%B3nDiagn%C3%B3stico2014_14-11-2014.pdf)
- Ministerio de agricultura y ganadería*. (07 de Enero de 2021). *Ministerio de agricultura y ganadería*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/iniap-y-mag-presentan-variedad-de-maiz-duro-que-rinde-entre-75-y-12-toneladas-por-hectarea/#>
- García, C., Robaina, D., & Calgaro, M. (20 de junio de 2002). *SELECCIÓN DE BOMBAS DE RIEGO*. Obtenido de

[https://www.academia.edu/40040495/SELECCI%C3%93N\\_DE\\_BOMBAS\\_PARA\\_RIEGO](https://www.academia.edu/40040495/SELECCI%C3%93N_DE_BOMBAS_PARA_RIEGO)

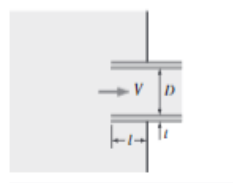
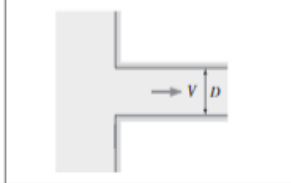
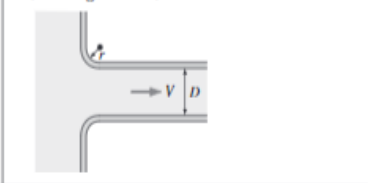
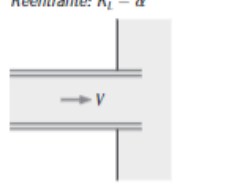
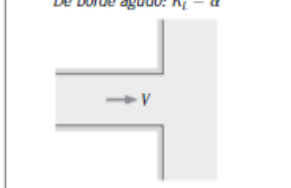
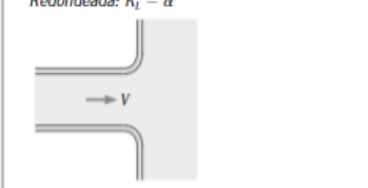
- ISO, O. I. (2002). *ISO 15873 Irrigation equipment-Differential pressure venturi type liquid additive injectors*. iteh.ai.
- Jain Irrigation systems Ltd. (2013). *CAÑA DE AZÚCAR*. Recuperado el 20 de junio de 2022, de [https://naandanjain.com/wp-content/uploads/2019/04/NDJ\\_SugerCane\\_booklet\\_span\\_021013F.pdf](https://naandanjain.com/wp-content/uploads/2019/04/NDJ_SugerCane_booklet_span_021013F.pdf)
- Janna, W. S. (2015). *Design of Fluid Thermal Systems* (Fourth Edition ed.). Stanford, USA: Cengage Learning.
- Laserna Arcas, S, Montero Martínez, J, Sheikhesmaeili, O, & Alcázar Bascuñana, E. (2016). *ANÁLISIS DE LA UNIFORMIDAD DE RIEGO EN SISTEMAS DE*. Sevilla: XXXIV Congreso Nacional de Riegos.
- Lema, H., Olga, V., Hoyos, C., & Ospina, G. (2005). *Producción de café módulo 5*. Manizales.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. (2011). *Manejo integrado del cultivo de maíz de altura*. Recuperado el 20 de junio de 2022, de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3302/1/iniapscpm190.pdf>
- Muñoz, L. (13 de noviembre de 2020). *Distancias de siembra. Qué distancia dejar entre las plantas del huerto*. Recuperado el 19 de junio de 2020, de <https://www.agrohuerto.com/distancias-de-siembra-plantas-del-huerto-separacion/>
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Recuperado el 5 de julio de 2022, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- PDyOTL. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial | Municipio de Loja*. Recuperado el 8 de junio de 2022, de [Loja.gob.ec](http://loja.gob.ec): <http://loja.gob.ec/contenido/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>
- PDyOTP. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Puyango 2019-2023*. Recuperado el 8 de junio de 2022, de Secretaría Técnica Planifica Ecuador: <https://www.gadmpuyango.gob.ec/index.php/rendicion-de-cuentas/pdyot>
- Plan Nacional de Sequía*. (2021). Recuperado el 8 de junio de 2022, de [Ambiente.gob.ec](http://ambiente.gob.ec): <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/05/plan-nacional-de-sequia.pdf>

- Prosap, N. C. (2016). *R- 001- Guía para la determinación de textura de suelos por método*. San Juan: INTA EEA.
- Puyango-Sistemas Productivos*. (2013). Recuperado el 8 de junio de 2022, de [Geoportaligm.gob.ec](https://www.geoportaligm.gob.ec):  
[https://www.geoportaligm.gob.ec/descargas\\_prueba/puyango.html](https://www.geoportaligm.gob.ec/descargas_prueba/puyango.html)
- Romero, J. M., & Camilo, J. (2019). *Manual de producción sostenible de café*. Recuperado el 20 de junio de 2022, de INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA (IICA):  
<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8726/BVE20037756e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SCHEIN, N. (6 de noviembre de 2013). *INTRODUCCIÓN A LA SELECCIÓN DE BOMBAS Y AL DISEÑO EFICIENTE DE SISTEMAS DE BOMBEO*. Recuperado el 6 de julio de 2022, de <https://docplayer.es/4867552-Introduccion-a-la-seleccion-de-bombas-y-al-diseno-eficiencia-de-sistemas-de-bombeo.html>
- Sela, G. (17 de abril de 2020). *Principles of irrigation systems design*. Recuperado el 6 de julio de 2022, de <https://cropaia.com/blog/irrigation-system-design/>
- TRAXCO. (2016). *Importancia de los filtros para riego*. Recuperado el 18 de junio de 2022, de <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/filtros-para-riego>
- White, F. M. (2004). *Mecánica de fluidos (Quinta edición)*. McGraw-Hill.

# APÉNDICES

**TABLA 8-4**

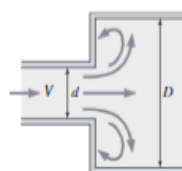
Coefficientes de pérdida  $K_L$  de varios accesorios de tubería para flujo turbulento (para usar en la relación  $h_L = K_L V^2/(2g)$ , donde  $V$  es la velocidad promedio en la tubería que contiene el accesorio)\*

<p><i>Entrada de la tubería</i> Reentrante: <math>K_L = 0.80</math> (<math>t \ll D</math> y <math>l = 0.1D</math>)</p> 	<p>De borde agudo: <math>K_L = 0.50</math></p> 	<p>Redondeada (<math>r/D &gt; 0.2</math>): <math>K_L = 0.03</math> Ligeramente redondeada (<math>r/D = 0.1</math>): <math>K_L = 0.12</math> (véase figura 8-36)</p> 
<p><i>Salida de la tubería</i> Reentrante: <math>K_L = \alpha</math></p> 	<p>De borde agudo: <math>K_L = \alpha</math></p> 	<p>Redondeada: <math>K_L = \alpha</math></p> 

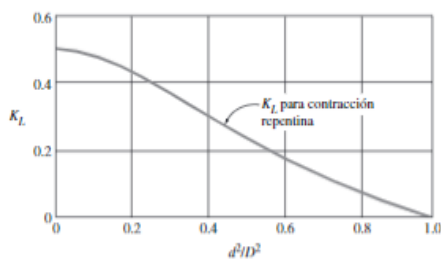
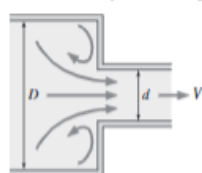
Nota: El factor de corrección de energía cinética es  $\alpha = 2$  para flujo laminar totalmente desarrollado, y  $\alpha \approx 1.05$  para flujo turbulento totalmente desarrollado.

*Expansión y contracción repentina (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)*

Expansión repentina:  $K_L = \alpha \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$

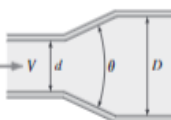


Contracción repentina: ver gráfica.

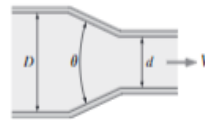


*Expansión y contracción gradual (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)*

Expansión (para  $\theta = 20^\circ$ ):  
 $K_L = 0.30$  para  $d/D = 0.2$   
 $K_L = 0.25$  para  $d/D = 0.4$   
 $K_L = 0.15$  para  $d/D = 0.6$   
 $K_L = 0.10$  para  $d/D = 0.8$



Contracción:  
 $K_L = 0.02$  para  $\theta = 30^\circ$   
 $K_L = 0.04$  para  $\theta = 45^\circ$   
 $K_L = 0.07$  para  $\theta = 60^\circ$

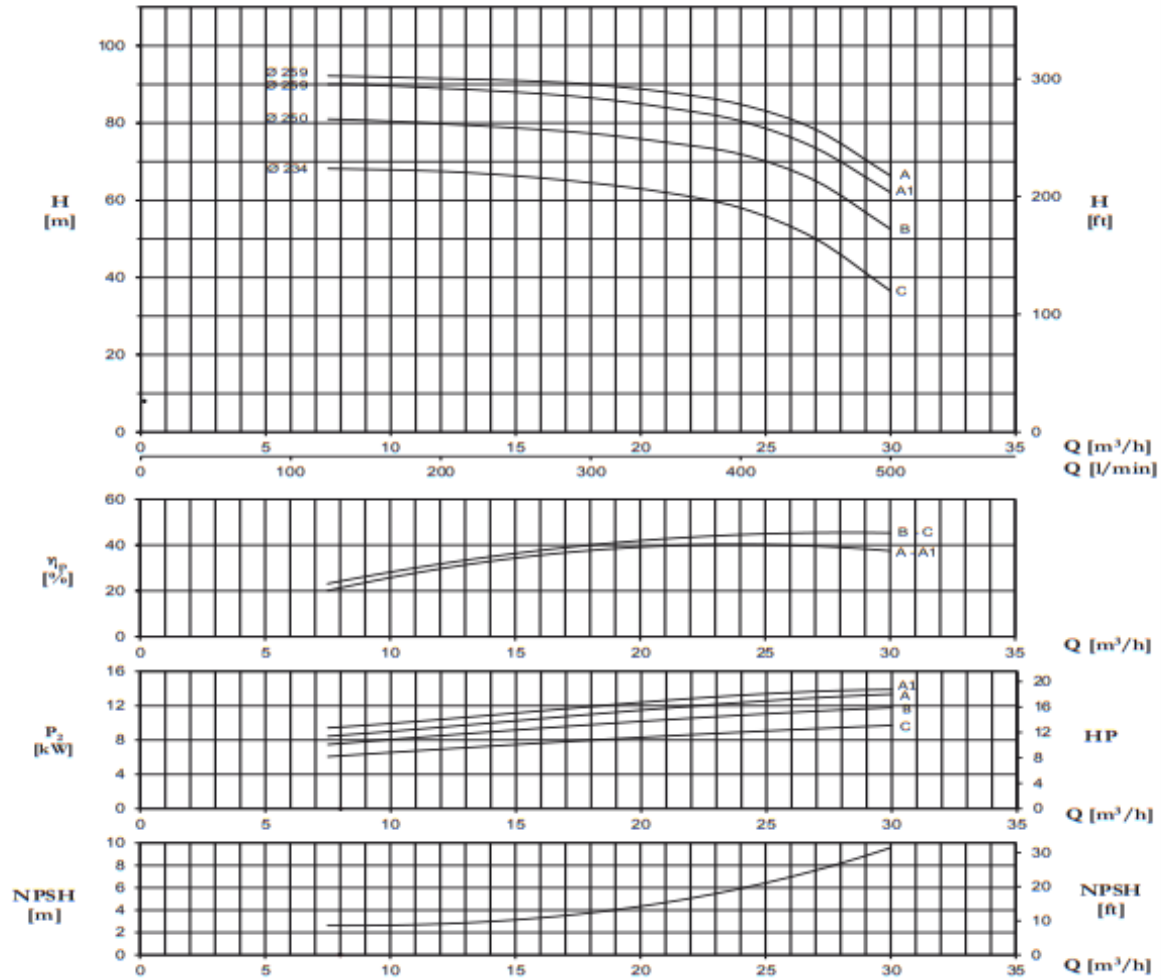


**Figura A.1 factor de pérdida de los accesorios**



SERIE - SERIES

# CM



Tolerance: ISO 9906:2012 - Grade 3B

## CARATTERISTICHE TECNICHE A 2900 GIRI / TECHNICAL PERFORMANCE AT 2900 RPM

Modello - Model	P2		A	Q (m³/h - l/min)									
				0	7,5	9	12	15	18	21	24	27	30
3~			3~	0	125	150	200	250	300	350	400	450	500
				(HP)	(kW)	3x400V 50 Hz	H (m)						
CM 32-250 C	12,5	9,2	20,1	70,0	68,5	68	67	65,5	63,5	61	58	50	36,5
CM 32-250 B	15	11	24,2	82,0	81	80,5	79,5	78,5	77	74,5	71,9	65	52,5
CM 32-250 A1	20	15	27,4	91,0	90	89,9	89	88	86	83,5	80,8	74	61,5
CM 32-250 A	20	15	30,1	93,0	92,5	92	91,5	90,5	89,5	87,5	85	78,5	66

Figura A.2 Curvas características de la bomba

