



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **“DISEÑO PARA REHABILITAR Y MEJORAR EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL SECTOR MATUS-PENIPE”**

**BENALCÁZAR REVELO FAUSTO RAÚL  
YAUCÉN SILVA ALEJANDRO PAÚL**

## **TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

## **INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2016**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2015-12-14

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**BENALCÁZAR REVELO FAUSTO RAÚL  
YAUCÉN SILVA ALEJANDRO PAÚL**

---

Titulada:

**“DISEÑO PARA REHABILITAR Y MEJORAR EL SISTEMA DE RIEGO POR  
ASPERSIÓN EN EL SECTOR MATUS-PENNIPE”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Marco Ordoñez Viñán  
**DIRECTOR DE TESIS**

---

Ing. Edwin Viteri Núñez  
**ASESOR DE TESIS**

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** BENALCÁZAR REVELO FAUSTO RAÚL

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO PARA REHABILITAR Y MEJORAR EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL SECTOR MATUS-PENIPE”

**Fecha de Examinación:** 2016-02-01

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Dr. Marco Haro Medina <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Marco Ordoñez Viñán <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Edwin Viteri Núñez <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Dr. Marco Haro Medina  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** YAUCÉN SILVA ALEJANDRO PAÚL

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO PARA REHABILITAR Y MEJORAR EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL SECTOR MATUS-PENIPE”

**Fecha de Examinación:** 2016-02-01

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Dr. Marco Haro Medina <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Marco Ordoñez Viñán <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Edwin Viteri Núñez <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Dr. Marco Haro Medina  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Benalcázar Revelo Fausto Raúl**

---

**Yaucén Silva Alejandro Paúl**

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Benalcázar Revelo Fausto Raúl y Yaucén Silva Alejandro Paúl, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Benalcázar Revelo Fausto Raúl**  
Cedula de Identidad: 060411378-7

---

**Yaucén Silva Alejandro Paúl**  
Cedula de Identidad: 060371067-4

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico Dios por haberme dejado llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis abuelitos Gloria Naranjo y Medardo Revelo aunque ahora no se encuentran entre nosotros me guiaron y supieron dar su apoyo incondicional mientras vivían , A mis padres Fausto Benalcázar y Carmen Revelo por su cariño, apoyo, formarme con buenos sentimientos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante. A mis hermanos que a pesar de la distancia física siempre están conmigo. A mi familia, que me han brindado su apoyo incondicional y compartir conmigo buenos y malos momentos. A mis amigos con quienes compartí innumerables vivencias que nos sirvieron para aprender y crecer como personas.

**Fausto Raúl Benalcázar Revelo**

El presente proyecto de titulación está dedicado a la memoria de mi Padre Miguel Yaucén quien ha sido mi guía e iluminación, a mi Madre Enriqueta Silva y a mis Hermanas Mariana y Jazmín que con su apoyo y amor incondicional me brindaron la oportunidad de cumplir mi meta y no darme por vencido ante las adversidades.

A mis Tías Dolores y María por ser mi fortaleza para seguir adelante, a mis Primas Valeria y Renata por ser la alegría y el empuje para superar los obstáculos que se presenten, a mi Abuelita Perpetuo Basantes que con sus bendiciones que me dan la voz de aliento, a mis Amigos por sus consejos y buenos momentos compartidos dentro y fuera del salón de clases.

**Alejandro Paúl Yaucén Silva**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica por sus conocimientos impartidos los cuales me ayudaron a desarrollar la tesis, como también a mis padres quienes me apoyaron tanto en sentido emocional como económicamente para la construcción del proyecto.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de mi vida.

**Fausto Raúl Benalcázar Revelo**

Agradezco principalmente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por darme la oportunidad y tener el privilegio de haber estudiado y obtenido tan valiosos conocimientos en tan prestigiosa Escuela.

A mis profesores y a todo el personal de la Escuela de Ingeniería Mecánica, que gracias sus enseñanzas impartidas dentro y fuera del salón de clases; me ayudaron de una u otra manera a culminar mis estudios.

Y en especial a mis padres, que con sus sacrificios y bendiciones me apoyaron para ser un profesional. Y mis amigos, compañeros y personas que me ayudaron para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

**Alejandro Paúl Yaucén Silva**



## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. GENERALIDADES</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Sistema de distribución de aguas .....	4
2.1.1 <i>Captación principal</i> .....	4
2.1.1.1 <i>Criterios de localización para la captación en ríos y manantiales</i> .....	4
2.1.2 <i>Desarenador</i> .....	6
2.1.2.1 <i>Zonas de un desarenador</i> .....	6
2.1.2.2 <i>Vertedero de exceso</i> .....	8
2.1.3 <i>Red principal</i> .....	8
2.1.4 <i>Red secundaria</i> .....	9
2.1.5 <i>Red terciaria</i> .....	9
2.2 Sistema de riego por aspersión .....	9
2.2.1 <i>Componentes del sistema de riego por aspersión</i> .....	10
2.2.2 <i>Ventajas del sistema de riego por aspersión</i> .....	10
2.2.3 <i>Desventajas del sistema de riego por aspersión</i> .....	10
2.3 Localización geográfica y política de la zona .....	11
2.4 Recursos disponibles .....	12
2.4.1 <i>Población</i> .....	12
2.5 Análisis de suelos del sector.....	12
2.5.1 <i>Características del suelo</i> .....	12
2.5.1.1 <i>Características físicas del suelo</i> .....	12
2.5.1.2 <i>Características químicas del suelo</i> .....	12
2.5.1.3 <i>Características químicas del suelo</i> .....	13
<b>3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN</b>	
3.1 Datos generales del proyecto .....	14
3.1.1 <i>Medición del caudal</i> .....	14
3.1.2 <i>Padrón de usuarios</i> .....	14
3.2 Diseño Agronómico .....	15
3.2.1 <i>Introducción</i> .....	15
3.2.2 <i>Descripción de recursos</i> .....	16
3.2.2.1 <i>Textura del suelo</i> .....	16
3.2.3 <i>Requerimientos de agua y operación de cultivo</i> .....	16
3.2.4 <i>Calculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)</i> .....	18
3.2.4.1 <i>Coeficiente del tanque evaporímetro (kp)</i> .....	19
3.2.5 <i>Determinación de la evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>)</i> .....	21
3.2.5.1 <i>Coeficiente de cultivo</i> .....	21
3.2.5.2 <i>Construcción de la curva del coeficiente del cultivo</i> .....	21
3.2.6 <i>Precipitación efectiva</i> .....	26
3.2.7 <i>Determinación del calendario de riego de los cultivos</i> .....	27
3.2.7.1 <i>Determinación del agua útil para riego</i> .....	27
3.2.7.2 <i>Determinación de la lámina de riego</i> .....	28
3.2.7.3 <i>Determinación de la frecuencia de riego</i> .....	28

3.2.7.4	<i>Determinación de la lámina bruta de riego</i> .....	29
3.2.7.5	<i>Determinación del volumen de riego</i> .....	29
3.2.7.6	<i>Análisis Tipo</i> .....	29
3.2.8	<i>Selección del aspersor</i> .....	33
3.3	<i>Diseño de obras civiles</i> .....	36
3.3.1	<i>Bocatoma</i> .....	36
3.3.1.1	<i>Selección de la bocatoma</i> .....	37
3.3.1.2	<i>Caudal a captar</i> .....	37
3.3.2	<i>Diseño del desarenador</i> .....	37
3.3.3	<i>Cálculo y selección del diámetro de la tubería de presión</i> .....	44
3.3.4	<i>Diseño del tanque de almacenamiento</i> .....	45
3.3.4.1	<i>Tubería de llegada al tanque</i> .....	46
3.3.4.2	<i>Tubería de salida</i> .....	47
3.3.4.3	<i>Tubería de lavado del tanque</i> .....	47
3.3.4.4	<i>Tubería de rebose</i> .....	47
3.3.4.5	<i>Análisis estructural del tanque de almacenamiento</i> .....	48
3.3.4.5.1	<i>Diseño de paredes sometidas a empuje de tierras</i> .....	49
3.3.4.6	<i>Memoria de cálculo</i> .....	50
3.4	<i>Diseño hidráulico</i> .....	53
3.4.1	<i>Riego parcelario</i> .....	53
3.4.2	<i>Factores determinantes en el diseño</i> .....	54
3.4.3	<i>Análisis de la tubería de conducción de la toma al tanque</i> .....	54
3.4.4	<i>Redes de tuberías</i> .....	58
3.4.4.1	<i>Cálculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo A</i> .....	61
3.4.4.2	<i>Calculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo B</i> .....	64
3.4.4.3	<i>Cálculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo C</i> .....	66
3.4.4.4	<i>Cálculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo D</i> .....	68
3.4.4.5	<i>Calculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo E</i> .....	71
3.4.4.6	<i>Calculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo F</i> .....	73
3.4.4.7	<i>Cálculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo G</i> .....	76
<b>4.</b>	<b>ANALISIS DE COSTOS</b>	
4.1	<i>Costos directos</i> .....	81
4.1.1	<i>Costos de materiales</i> .....	81
4.1.2	<i>Costos de equipos y maquinaria</i> .....	83
4.1.3	<i>Costos de mano de obra</i> .....	84
4.1.4	<i>Costo de transporte</i> .....	84
4.2	<i>Costos indirectos</i> .....	85
4.3	<i>Costos totales</i> .....	85
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	<i>Conclusiones</i> .....	86
5.2	<i>Recomendaciones</i> .....	87

**BIBLIOGRAFIA**

**ANEXOS**

**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

Pág.

1	Porcentaje del padrón de cultivos .....	14
2	Factores de constitución que determina la calidad de un suelo cultivable. ....	16
3	Anuario climatológico 2014 ESPOCH.....	20
4	Precipitación mensual de lluvias, Software Cromptal .....	26
5	Calendario de riego para la alfalfa. ....	32
6	Relación entre diámetro de partícula y velocidad de sedimentación. ....	39
7	Valores de a/t.....	40
8	Valores de C para formula de Hazen-Williams.....	42
9	Comparación de los diferentes materiales para tuberías de presión.....	44
10	Especificaciones de tubería Novariego según el caudal. ....	55
11	Especificaciones para tuberías Novariego.....	55
12	Accesorios de tubería de conducción principal (Primer tramo).....	56
13	Coeficientes de rugosidad de Hazen-Williams .....	57
14	Accesorios de tubería de conducción principal (Segundo tramo) .....	57
15	Caudales para cada grupo .....	59
16	Designación de grupos por colores.....	59
17	Parámetros indispensables de las tuberías del sistema. ....	61
18	Accesorios en la tubería de conducción Grupo A.....	62
19	Análisis de tubería de conducción del Grupo A.....	63
20	Accesorios en la tubería de conducción del Grupo B.....	64
21	Análisis de tubería de conducción del Grupo B.....	65
22	Accesorios en la tubería de conducción del Grupo C .....	66
23	Análisis de tubería de conducción del Grupo C.....	67
24	Accesorios en la tubería de conducción del Grupo D .....	69
25	Análisis de tubería de conducción del Grupo D.....	70
26	Accesorios en la tubería de conducción del Grupo E.....	71
27	Análisis de la tubería de conducción del Grupo E.....	72
28	Accesorios en la tubería de conducción del Grupo F.....	74
29	Análisis de tubería de conducción del Grupo F. ....	75
30	Accesorios en la tubería de conducción del Grupo G. ....	77
31	Análisis de tubería de conducción del Grupo G. ....	78
32	Costos de materiales para el sistema hidráulico. ....	81
33	Materiales para obras civiles. ....	83
34	Costos de equipos y maquinaria. ....	83
35	Coste de mano de obra. ....	84
36	Coste de transporte. ....	84
37	Costos directos. ....	84
38	Costos indirectos. ....	85
39	Costos totales. ....	85

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1	Equilibrio de fuerzas ..... 6
2	Zonas de un desarenador ..... 7
3	Sistema de distribución de agua ..... 9
4	Mapa de Ubicación del Cantón Penipe..... 11
5	Padrón de cultivos ..... 14
6	Casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores..... 19
7	Histograma de ETo mensual..... 20
8	Curva típica del Kc ..... 22
9	Curva del Kc del maíz ..... 22
10	Curva del Kc de la papa ..... 23
11	Curva del Kc de la alfalfa..... 24
12	Curva del Kc de las hortalizas ..... 24
13	Curva del Kc del tomate ..... 25
14	Aspersor x-Cel Wobbler ..... 34
15	Disposición de las válvulas en el tanque de almacenamiento. .... 46
16	Distribución de momentos ..... 50
17	Distribución de presiones ..... 50
18	Esquema de cargas..... 51
19	Agrupación de parcelas,..... 60
20	Cota vs longitud de tubería en la conducción del Grupo A ..... 63
21	Cota vs longitud de tubería de la conducción del Grupo B. .... 65
22	Cota vs longitud de tubería en la conducción del Grupo C. .... 68
23	Cota vs longitud de tubería en la conducción del Grupo D. .... 71
24	Cota vs longitud de tubería en la conducción del Grupo E. .... 73
25	Cota vs longitud de tubería en la conducción del Grupo F..... 76
26	Cota vs longitud de tubería en la conducción del Grupo G. .... 79

## LISTA DE ABREVIACIONES

INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador
INAR	Instituto Nacional de Riego
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
FAO	Organización para la Agricultura y la Alimentación
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
CEBYCAM	Centro de Desarrollo Humano en Cultura y Economía Solidaria
GADM	Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal

## SIMBOLOGÍA

Q <sub>d</sub>	Caudal de diseño	m <sup>3</sup> /s
H	Altura	m
H <sub>b</sub>	Altura bruta	m
H <sub>s</sub>	Altura sobrepresión por golpe de ariete	m
D	Diámetro	m
A	Área	m <sup>2</sup>
V <sub>s</sub>	Velocidad de sedimentación	m/s
g	Gravedad específica	m/s <sup>2</sup>
ρ	Densidad del agua	kg/m <sup>3</sup>
V	Volumen del tanque	m <sup>3</sup>
ν	Viscosidad cinemática del agua	m <sup>2</sup> /s
K <sub>p</sub>	Coeficiente del tanque evaporímetro	
K <sub>c</sub>	Coeficiente de cultivo	
E <sub>pm</sub>	Evaporación del tanque evaporímetro	mm/día
E <sub>To</sub>	Evapotranspiración de referencia	mm/día
E <sub>Tc</sub>	Evapotranspiración de cultivo	mm/día
FR	Frecuencia de riego máximo	
L <sub>n</sub>	Lamina neta	mm
L <sub>b</sub>	Lamina bruta	mm
z	Profundidad de la zona reticular	mm
J	Perdida de carga por cada metro de tubería	
T <sub>r</sub>	Tiempo máximo de riego	s
A <sub>u</sub>	Agua útil o lamina total de agua	mm
EF	Eficiencia del sistema de riego	%
C <sub>c</sub>	Contenido de humedad a capacidad de campo	m <sup>3</sup> <sub>agua</sub> /m <sup>3</sup> <sub>suelo</sub>
P <sub>mp</sub>	Contenido de humedad a punto de marchitez	m <sup>3</sup> <sub>agua</sub> /m <sup>3</sup> <sub>suelo</sub>
D <sub>a</sub>	Densidad aparente	gr/cm <sup>3</sup>
P <sub>ms</sub>	Pluviosidad media del sistema	mm/h
Q	Caudal del aspersor	gpm
E <sub>lat</sub>	Espaciamiento entre laterales	m
E <sub>asp</sub>	Espaciamiento entre aspersores	m
C	Capacidad del desarenador	m <sup>2</sup>
a	Tiempo de retención de la partícula	s

## LISTA DE ANEXOS

- A** Adjudicación de agua para el sector Matus-Penipe
- B** Padrón de usuarios
- C** Coeficiente de cultivo
- D** Coeficiente del tanque evaporímetro
- E** Calendarios de riego
- F** Diagrama de Moody
- G** Viscosidad del agua a diferentes temperaturas
- H** Manual de mantenimiento del sistema de riego

## RESUMEN

El contenido de este trabajo de Tesis se centra en la importancia de la vinculación donde se pretende establecer lazos entre la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la comunidad. Se realizó el diseño para rehabilitar y mejorar el sistema de riego por aspersión en el sector Matus-Penipe, ubicado en la Provincia de Chimborazo cantón Penipe, con la finalidad de beneficiar a 189 terrenos promoviendo un mayor desarrollo social, tecnológico y económico del sector.

Para el sistema de riego de cuenta con un caudal de 75 l/s del río Matus, el cual ha sido adjudicado por la Secretaría Nacional del Agua; se aplicó un estudio agronómico en el que se recomienda un sistema de riego semifijo, se realizó el diseño de las obras civiles como bocatoma, desarenador, tanque reservorio de 4500 m<sup>3</sup>, instalando una tubería de 8 plg., tuberías laterales y de distribución con aspersores tipo Xcel-Wobbler. Se utilizaron fichas vinculadas del software Cropwat 8.0 obteniendo información que permitió analizar las características para la gestión del agua. El costo del sistema es de 296 161,47 USD.

Se concluye que este trabajo contribuye como una herramienta de información y alternativa para enmendar las dificultades existentes en el sistema de riego actual y que beneficie el uso eficiente del recurso para evitar procesos negativos de erosión, recomendando capacitación e implementación de esta tecnificación moderna.



## **ABSTRACT**

The content of this thesis project is focused on the importance of connection with society, where is intended to establish bonds between the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo and the community. It was designed in order to restore and improve the irrigation aspersion system in Matus-Penipe area, locate in the Chimborazo province, Penipe canton, in order to benefit to 189 lands, promoting a further social, technologic and economic development in the area.

For the irrigation system benefits from a significant flow of 75 liters of Matus river, which has been adjudicated for the National Water Secretariat, it was applied an economical study in which is recommended a semi-fixed irrigation system, the design of civil works was designed the wáter intake, desander, reservoir tank of 4500 m<sup>3</sup>, installing a pipe of 8 inches, lateral pipes and of distribution with sprinklers type Xcel-Wobbler. Factsheets linked of software Cropwat 8.0 obtaining information that allowed to analyse the characteristics for the management water. The system cost is of 296 161,47 USD.

It is concluded that this work constitutes an information tool and alternative in order to correct the existent difficulties in the actual irrigation system that supporting the efficient use of resource in order to avoid negative erosion processes, it is recommended training and implementation of this modern technification.

## **CAPITULO I**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1 Antecedentes**

El desarrollo de los pueblos está ligado estrechamente a la agricultura y ésta, al suelo y al agua, lo que nos obliga al desarrollo de técnicas que permitan conservar las tierras; administrar y utilizar de forma eficiente el agua, tanto desde la captación y conducción. En la actualidad el 40% del agua destinada para riego se pierde (por infiltraciones, evaporación, malos diseños de sistemas de riego, etc.) antes de que llegue a los cultivos.

La solución más eficaz al problema de la creciente escasez de agua en el sector, es un diseño de riego. Con esta recomendación, el GADM del Cantón Penipe, "COSUDE y CEBYCAM" impulsaron un proceso participativo de elaboración del plan de desarrollo cantonal.

El plan de desarrollo local del Cantón Penipe en el ámbito económico-productivo, define como unos de sus objetivos estratégicos del presente proyecto, el desarrollar procesos de concertación local y de apoyo interinstitucional, todos ellos encaminados a la rehabilitación, reparación, mantenimiento y/o ampliación de los sistemas de riego del Cantón Penipe.

La presente propuesta corresponde a este objetivo del plan cantonal de Penipe y busca delinear las principales estrategias para incorporar a los usuarios en su totalidad a los beneficios del agua de riego como un elemento para la reactivación económica productiva del cantón, que ha venido decayendo a consecuencia del abandono de tierras y disminución de los caudales provocados por la apropiación indebida de otros usuarios; paralelamente a la propuesta técnica de rehabilitación, mejoramiento, mantenimiento y/o ampliación de los sistemas de riego, se presenta un diagnóstico de la situación socio productiva de la junta de regantes, un análisis de su capacidad de gestión, los problemas en el uso y reparto del agua, aspectos legales de concesión y aprovechamiento del recurso hídrico y recomendaciones pendientes a fortalecer a esta instancia organizativa responsable de la administración, operación y mantenimiento del sistema de riego.

## **1.2 Justificación**

El sistema de riego Matus-Penipe se encuentra ubicado en la parroquia de Bayushig y matriz del Cantón Penipe, Provincia de Chimborazo. Capta las aguas del Río Matus, en la cota 2812 m.s.n.m. en un caudal de 65 l/s de acuerdo a la concesión extendida por la agencia de aguas de Riobamba en el año 1991. Aguas abajo del sistema de riego se alimenta de 10 l/s captados de la vertiente Shimblas, proporcionando un caudal total de 75 l/s.

Están registrados como usuarios 121 de 220 familias que pertenecen a las comunidades a las cuales sirve el sistema de riego. Actualmente el sistema riega alrededor de 175 hectáreas.

Pero, el área potencial de riego bajo el canal existente es de 225 hectáreas, lo que significa que el caudal adjudicado es deficiente y no permite cubrir toda el área regable de la zona. Actualmente el uso del suelo en la zona del sistema de riego está dedicado al cultivo del maíz, arveja, papas, zambo y tomate, pero la zona tiene buenas condiciones para el cultivo de más productos (árboles frutales como pera, manzana, limón, etc.).

La infraestructura del sistema de riego tiene varias deficiencias de diseño hidráulico (taponamiento en la captación y en el canal) y no posee obras de control adicionales (desarenadores, drenajes, etc.).

La conducción principal es de canal abierto por lo que los frecuentes deslaves por el clima imposibilitan la conducción del agua de riego a las áreas a servir. En la conducción principal falta construir obras civiles y de protección. Existe una gran cantidad de toma clandestina que han generado daños en el canal, conflictos entre usuarios y han perjudicado a los usuarios de la cola del canal, que pocas veces pueden contar con el agua de riego.

La propuesta del mejoramiento, rehabilitación, reparación, mantenimiento y/o ampliación del sistema de riego del sector Matus-Penipe que consta en este proyecto, tiene que ver con la implementación y re direccionamiento de tubería de conducción por el canal abierto existente, la construcción de obras civiles y de control adicionales, y protecciones necesarias para conservación del sistema, de las tierras, del agua y de la comunidad local.

### **1.3       Objetivos**

**1.3.1**       *Objetivo general.* Diseñar, rehabilitar y mejorar un sistema de riego por aspersión, utilizando como fuente de agua el Río Matus para satisfacer las necesidades hídricas de la zona, donde las precipitaciones mensuales no satisfacen los requerimientos hídricos; para permitir a la población realizar inversiones en el sector agrícola-ganadero para la reactivación económica del sector.

#### **1.3.2**       *Objetivos específicos:*

Diseñar las obras civiles para el sistema de riego para el sector Matus-Penipe

Incorporar e incrementar el número de usuarios, a los beneficios del agua de riego y del sistema de riego por aspersión.

Seleccionar tuberías, accesorios y otros elementos necesarios para el sistema de riego por aspersión.

Calcular el costo de la inversión.

Determinar la demanda de agua y minimizar las pérdidas en el sistema de riego de la zona del proyecto.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Sistema de distribución de aguas

El sistema de distribución está compuesto por un conjunto de obras e instalaciones que transportan el agua desde el punto de captación hasta la cabecera de los canteros o unidades de riego por superficie y de percolación de los campos de cultivo.

**2.1.1 Captación principal.** Se conoce con el nombre de obras de captación las estructuras que se colocan directamente sobre las fuentes superficiales o subterráneas que se han seleccionado como económicamente utilizables para surtir una red de acueductos o para generar energía y desarrollar sistemas de riego, entre otros fines. Las fuentes superficiales pueden presentarse bajo la forma de corrientes con desplazamiento continuo o bien como vasos o represas de una definida extensión. Entre las primeras se encuentran los ríos, vertientes o manantiales y entre las segundas, los lagos y embalses.

Las aguas subterráneas, por otra parte, se presentan en estratos más o menos profundos, debajo de la superficie.

Los tipos de captación son esencialmente diferentes según que se desee captar las aguas de ríos, manantiales, lagos, embalses, pozos profundos o someros. (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

**2.1.1.1 Criterios de localización para la captación en ríos y manantiales.** Con el fin de obtener un comportamiento satisfactorio como fuente de agua, un río debe cumplir las siguientes condiciones.

- El caudal del río o manantial debe ser bastante mayor que el caudal de diseño, y la profundidad del río no debe ser menos de un cierto valor mínimo.
- Debe presentar un cause estable y tener firmeza en sus orillas, con el fin de que no existan derrumbes, sedimentos o erosiones que puedan interferir en el comportamiento óptimo de la estructura de captación.

- Se debe prever una carga suficiente para mover el agua hasta el sitio de las bombas; o bien, que se produzca el flujo por gravedad y el gasto estimado en el diseño.
- Es sumamente difícil impedir la entrada de los sedimentos a la estructura. Al tomar agua lateralmente en un río, se desarrolla una activa circulación transversal que genera un arrastre de sedimentación de gran cantidad y fuera de proporción con el caudal captado. Así, por ejemplo, si se capta el 10% del caudal, los sedimentos captados serán del orden del 20% o más. Como consecuencia el canal se azolva, su alineamiento se deforma y su entrada, si no se toma todas las medidas correctivas, puede sufrir un desplazamiento aguas abajo.
- En oportunidades se captan las aguas con estructuras situadas en excavaciones perpendiculares a las riveras del río.
- Cuando las corrientes son grandes pueden ser construidas torretomas similares a las utilizadas en embalses, lagos y en ciertos casos tomas sumergidas o laterales con canales de derivación.

Independientemente del tipo de aprovechamiento que se va a dar el caudal captado, se debe tener en cuenta que la conducción se haga lo más económica posible y localizando la estructura de captación lo más cercana que se pueda a la estructura de aprovechamiento. En el caso específico de aprovechamiento de agua para abastecimiento de acueductos, algunas veces sucede que el efectuar el trazado de la línea, para conducir el agua por gravedad, se obtiene una conducción de longitud considerable, por lo que una solución por bombeo puede resultar más económica. Cuando esto ocurre puede hacerse un análisis comparativo entre las soluciones.

#### *Solución por gravedad*

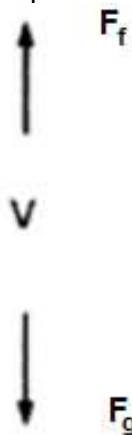
Se realiza un tanteo inicial del costo de las obras de toma y conducción y la cuota anual de amortización a 30 años. Además se hará un estimativo del costo anual de conservación de las obras, valor que fluctúa alrededor de dos y medio por mil (2,5%) de su costo.

La cuota anual equivalente de amortización y conservación es la suma de las cantidades anteriores. (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

**2.1.2 Desarenador.** Los desarenadores son estructuras que tienen como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar. Los factores que se deben considerar para un buen proceso de desarenación son: temperatura y viscosidad del agua, tamaño, forma y porcentaje a remover de la partícula de diseño, eficiencia de la pantalla deflectora. (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

Un desarenador eficiente debe resultar de pruebas de laboratorio sobre modelos en los cuales se simulan las condiciones de la fuente, pero los altos costos de estas pruebas relativas a la inversión en la estructura del proyecto, exigen asimilar teorías como la teoría básica de la sedimentación, la cual establece que la velocidad de sedimentación de partículas discretas en un fluido en reposo se obtiene considerando las fuerzas que actúan sobre la partícula. Ellas son: la fuerza de flotación  $F_f$  o el empuje igual al peso del volumen del líquido desplazado por la partícula, de acuerdo con el principio de Arquímedes, la fuerza gravitacional  $F_g$  dada por la fórmula de Newton y la fuerza de fricción  $F_t$ .

Figura 1. Equilibrio de fuerzas



Fuente: (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

Cuando existe equilibrio entre la fuerza de empuje y la fuerza gravitacional, teóricamente, se encuentra un estado estático. (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

**2.1.2.1 Zonas de un desarenador.** La sedimentación se efectúa en unidades o reactores en los cuales, teóricamente, la masa líquida se traslada de un punto a otro con movimiento rectilíneo uniforme.

Un desarenador consta de cuatro zonas y se debe proveer de dispositivos que hagan eficiente el proceso de sedimentación.

*Zona de entrada*, es la cámara donde se disipa la energía del agua que llega con alguna velocidad de la captación. En esta zona se orientan las líneas de corriente mediante un dispositivo denominado pantalla deflectora, a fin de eliminar turbulencias en la zona de sedimentación.

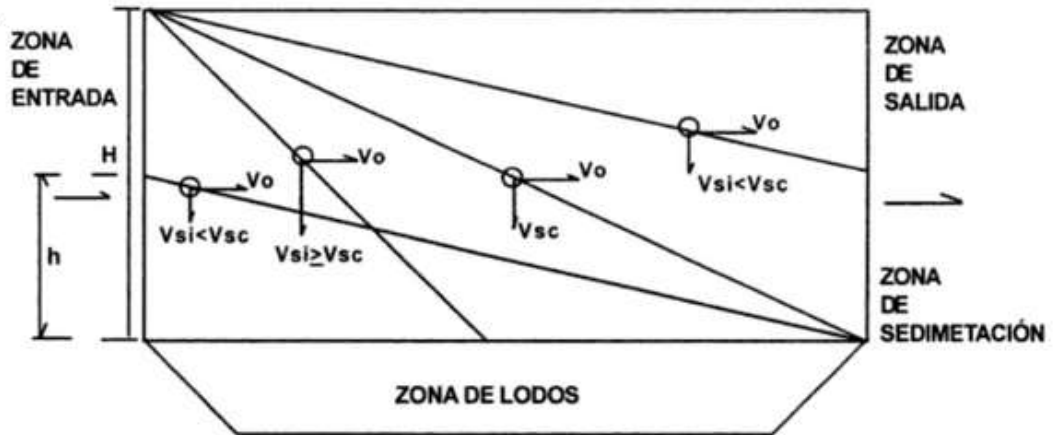
*Zona de sedimentación*, propiamente dicha, cuyas características de régimen de flujo permiten la remoción de los sólidos del agua. La teoría de funcionamiento de la zona de sedimentación se basa en las siguientes suposiciones simplificadas:

- El asentamiento tiene lugar exactamente como sucedería en un recipiente con fluido en reposo de la misma profundidad.
- La concentración de partículas a la entrada de la zona de sedimentación es homogénea, es decir, la concentración de partículas en suspensión de cada tamaño es uniforme en toda la sección transversal perpendicular al flujo.
- La velocidad horizontal del fluido en el desarenador está por debajo de la velocidad de arrastre de los lodos, por ejemplo, una vez que una partícula llegue al fondo, permanece allí. La velocidad horizontal es constante lo mismo que la velocidad de sedimentación de cada partícula, por lo que la trayectoria de las partículas en el sedimentador es una línea recta, como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Zonas de un desarenador







**Comportamiento de la zona de sedimentación**

Fuente: (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

*Zona de lodos*, recibe y almacena los lodos sedimentados

*Zona de salida*, la cual recoge el agua clarificada desde un vertedero de salida.

**2.1.2.2 Vertedero de exceso.** Se coloca generalmente en una de las paredes paralelas a la dirección de entrada del flujo y tiene como función evacuar el exceso de caudal que transporta la línea de aducción en épocas de aguas altas.

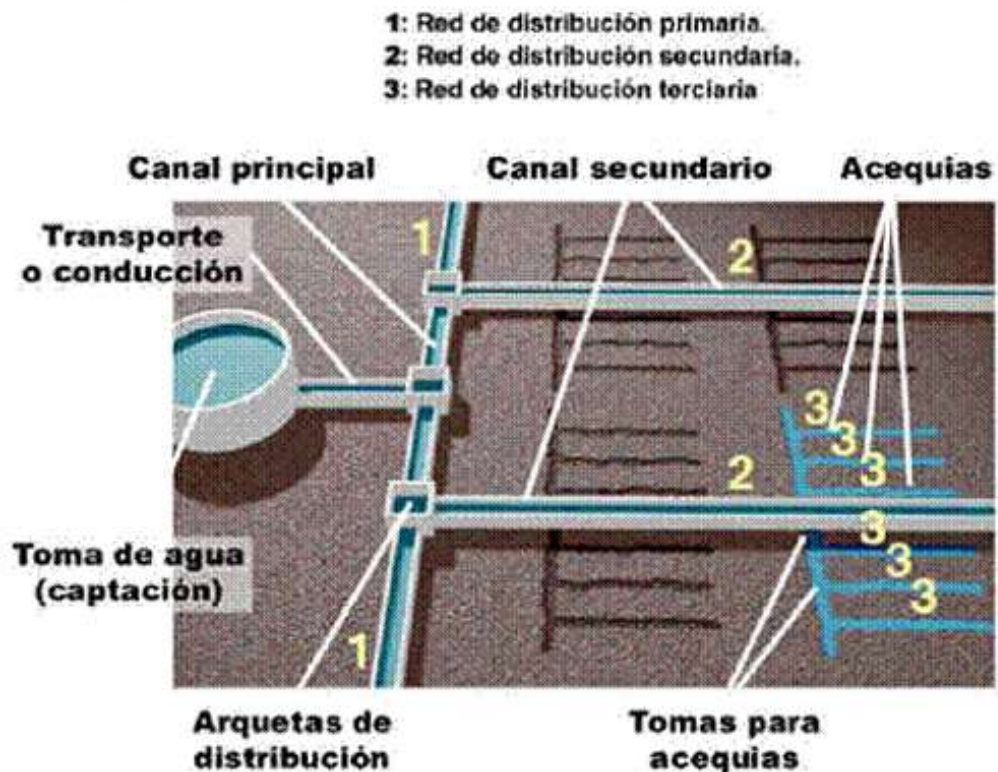
Si no se evacua el caudal excedente, por continuidad, aumenta el régimen de velocidad en la zona de sedimentación y con ello se disminuye la eficiencia del sistema.

El vertedero de exceso se debe diseñar para evacuar la totalidad del caudal que pueda transportar la línea de aducción, cuando se dé la eventualidad de tener que evacuar toda el agua presente.

Por el anterior motivo, la cresta del vertedero de excesos se colocara 3 cm, sobre el nivel normal del desarenador para contrarrestar oleaje. Se entiende por nivel normal el que se presenta con el caudal de diseño del sistema. (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

**2.1.3 Red principal.** La red principal o de conducción es la encargada de transportar el agua desde el punto de captación hasta el tanque de almacenamiento o hasta el inicio de la zona regable; esta agua deberá pasar previamente por un proceso de sedimentación de solidos presentes en ella, a través del desarenador, para luego pasar por dicha red. (SALAS, 2008)

Figura 3. Sistema de distribución de agua



Fuente: (SALAS, 2008)

**2.1.4** *Red secundaria.* También llamada red de distribución, esta se encarga de distribuir el agua a cada uno de los campos hasta el inicio de la zona regable. Ver figura 3. (SALAS, 2008)

**2.1.5** *Red terciaria.* En el entorno de las parcelas o zona de riego. Estas redes son los ramales de último orden de la red de distribución y conducen el agua hasta la cabecera del cantero o unidad de riego. Donde se conectara a su respectivo hidrante. Ver figura 3. (SALAS, 2008)

## **2.2 Sistema de riego por aspersión**

Este método de riego implica una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae.

Tanto los sistemas de aspersión como los de goteo utilizan dispositivos de emisión o descarga en los que la presión disponible en el ramal induce un caudal de salida.

La diferencia entre ambos métodos radica en la magnitud de la presión y en la geometría del emisor. (ALCOBENDAS, 2012)

**2.2.1** *Componentes del sistema de riego por aspersión.* Un aspecto muy importante para el funcionamiento de los sistemas de riego por aspersión es la operación adecuada del equipo, para ello es necesario conocer y saber la función de los elementos que lo componen. Un sistema de riego por aspersión está compuesto de muchas partes. Estas partes van desde la boquilla del aspersor hasta las válvulas que controlan la entrada del agua al sistema. Considerando un sistema de riego por aspersión típico, este consta de las siguientes partes:

- Fuente de abastecimiento
- Cabezal de control
- Tubos y accesorios
- Aspersores

**2.2.2** *Ventajas del sistema de riego por aspersión*

- Se considera una alta uniformidad en la aplicación de agua, sin pérdida por filtración profunda.
- A diferencia del riego por inundación o por surcos. Se elimina el peligro de erosión de los suelos.
- Se consigue más altos rendimientos: hortalizas y frutas.
- Se puede regar eficientemente terrenos con demasiada pendiente.
- Es posible aplicar fertilizantes solubles en el agua, herbicidas e insecticidas y fungicidas.
- Se puede regular la penetración de los fertilizantes en el momento oportuno durante los riegos.
- Se puede utilizar para proteger cultivos contra las heladas y contra las temperaturas excesivas que puedan reducir la cantidad y calidad de las cosechas.

**2.2.3** *Desventajas del sistema de riego por aspersión*

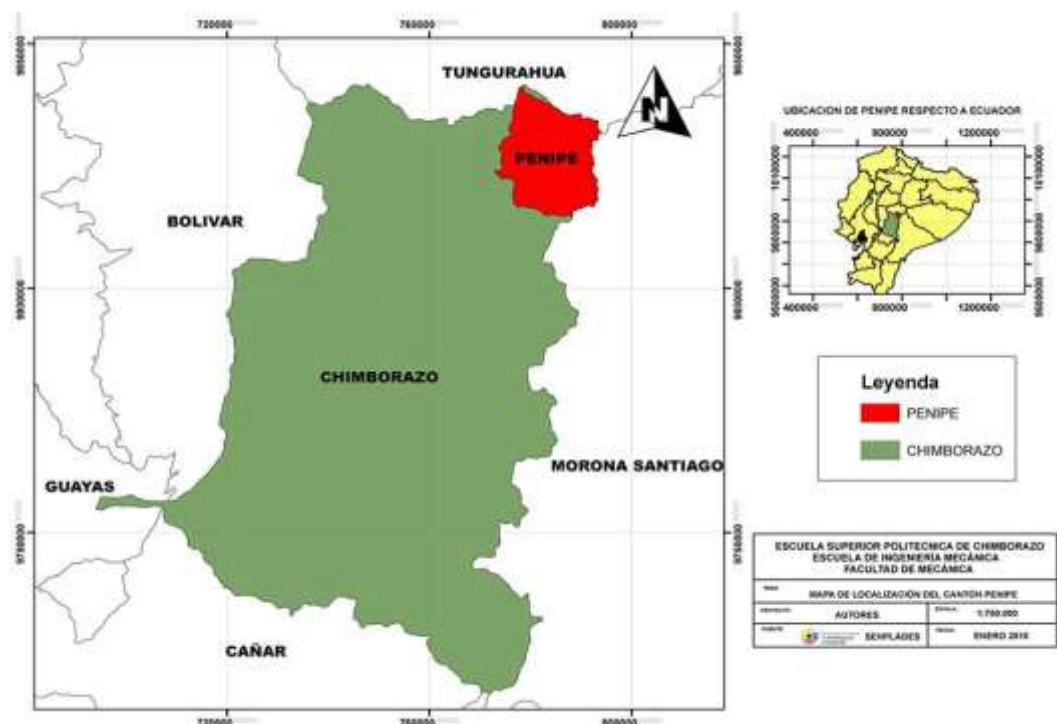
- Altos costos de instalación inicial.

- El principal problema que se tiene para aplicar este sistema es el viento que distorsiona la forma de distribución del agua y hace que esta no sea uniforme.
- Se debe de proteger de la aspersion los frutos blandos que están maduros.
- Para usos económicos del equipo, es necesario contar con un abastecimiento estable de agua.
- El agua tiene que ser limpia, sin arena y sin grandes cantidades de sales disueltas. (ALCOBENDAS, 2012) (PALOMINO, 2009)

### 2.3 Localización geográfica y política de la zona

La parroquia de Matus y Cantón Penipe se encuentra en la provincia de Chimborazo, al nororiente de la cordillera oriental de los andes de Ecuador. Ocupa un territorio de fuertes pendientes que superan los 50°, con una configuración de relieve de terrazas extendiéndose desde los 2 300 a los 3 300 msnm, la temperatura de la zona oscila entre 10°C y 18°C, debido a que recibe vientos dominantes y corrientes lluviosas provenientes de la amazonia, lo que influye notablemente sobre el paisaje y la agricultura. (TARJUELO, 1999).

Figura 4. Mapa de Ubicación del Cantón Penipe.



Fuente: CENPLADES

## **2.4 Recursos disponibles**

Para el diseño y ejecución se dispone del potencial hídrico de 75 l/s del Rio Matus, el cual se encuentra adjudicado y copia de este se encuentra en el Anexo A.

Los habitantes de estas parroquias se dedican a la agricultura; pero con la escasez de agua resulta un desafío importante para que estos productores se desarrollen. Este proyecto está orientado a satisfacer las necesidades en la producción de estos cultivos.

**2.4.1 Población.** Según el censo de población y vivienda realizada por el INEC, se registran 6 739 habitantes en todo el cantón, en el cual viven 1 064 habitantes en el área urbana y 5 675 en el área rural, siendo el 1,5% respecto a la provincia de Chimborazo.

## **2.5 Análisis de suelos del sector**

Los principales suelos que se distinguen en estos sectores son: suelos sobre proyecciones volcánicas (arenosos, francos, alofónicos) y suelos minerales (afloramientos rocosos o nevados).

**2.5.1 Características del suelo.** Según la topografía irregular de la zona del proyecto, ocupan un territorio de fuertes pendientes que supera los 50°. Dicha pendiente proporciona una diferencia de alturas adecuada para el funcionamiento óptimo del sistema de riego.

### **2.5.1.1 Características físicas del suelo.**

- Textura franco-arenoso predominante
- Color pardo
- Suelo poco profundo
- Tiene un drenaje permisible

### **2.5.1.2 Características químicas del suelo.**

- Ph = 8,2
- Potasio = 415 µg/ml (alto)
- Nitrógeno = 30,5 µg/ml (medio)
- Fósforo = 14,2 µg/ml (bajo)

### **2.5.1.3** *Características químicas del suelo.*

- Promedio anual de temperatura = 12,5°C
- Promedio anual de precipitación = 500 a 800 mm
- Humedad relativa = 67,27%

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

#### 3.1 Datos generales del proyecto

**3.1.1 Medición del caudal.** Según la adjudicación del Rio Matus-Penipe se tiene un caudal de 75 l/s con el que se cuenta actualmente y con el que se trabajara en el diseño del sistema de riego.

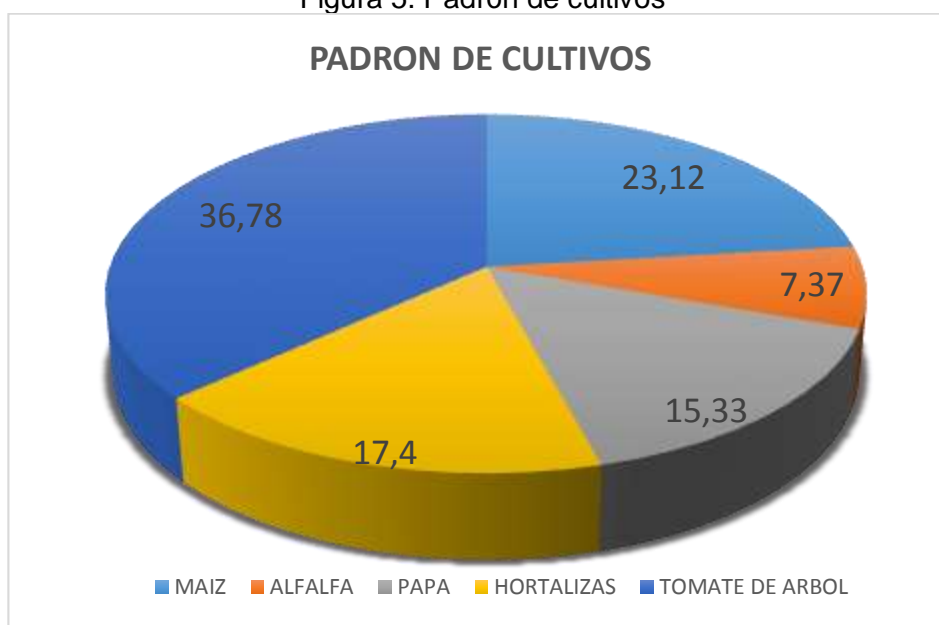
**3.1.2 Padrón de usuarios.** De acuerdo a los datos de campo obtenidos para cada uno de los usuarios se tiene un área total de 779 929,76 m<sup>2</sup>; así también se tiene el área individual correspondiente para cada usuario. Ver anexo B.

Tabla 1. Porcentaje del padrón de cultivos

Cultivo	Área	%
Maíz	180 319,7605	23,12
Alfalfa	57 480,82331	7,370
Papa	119 563,2322	15,33
Hortalizas	135 707,7782	17,40
Tomate de árbol	286 858,1657	36,78

Fuente: Autores

Figura 5. Padrón de cultivos



Fuente: Autores

## 3.2 Diseño Agronómico

**3.2.1** *Introducción.* Para el diseño del sistema de riego por aspersión deberá ser realizado de tal manera que los resultados aseguren la operación satisfactoria del sistema, para la producción de la óptima cosecha. Para lograrlo, se debe elaborar un inventario de recursos con que se cuenta, determinar los requerimientos de agua del cultivo y las operaciones del cultivo; después de haber visto estos parámetros, se podrá diseñar el sistema de riego por aspersión.

Para un adecuado diseño agronómico es necesario relacionar entre:

- Clima
- Calidad del agua
- Suelo
- Planta o cultivo
- Topografía

Si se suministra agua en cantidades apropiadas y con frecuencia se puede obtener buenos resultados en la producción agrícola. Las prácticas agronómicas apropiadas pueden incluir: drenaje, fertilización, rotación de cultivos, mejora de suelos y manejo, control de erosión, selección de los cultivos mejor situación para las condiciones locales.

El objetivo del diseño agronómico es determinar la evapotranspiración, que es el factor básico para saber los requerimientos de agua de cultivo, tomando en cuenta que el análisis se lo realizara en el mes más crítico durante la estación de cultivo.

Las exigencias del régimen están basadas en:

- Las exigencias del régimen de riego, es decir, cuando y en qué cantidad se debe compensar el consumo de agua.
- El sistema de riego tiene que ser capaz de abastecer el volumen de agua requerido durante la etapa de máximo consumo de agua para cada tipo de cultivo que se tiene en la zona.
- Por lo tanto, el primer paso es identificar dicha etapa y obtener los datos pertinentes.



- En base a estos datos se determina el régimen de riego y se procede al diseño del sistema de riego.
- El diseño del sistema de riego por aspersión debe ser hecho de tal manera que los resultados aseguren la satisfactoria operación del sistema para la producción de la óptima cosecha.

Muchos campos agrícolas tendrán la rotación de varios cultivos, por este deben ser diseñados considerando el cultivo que tenga mayor demanda.

**3.2.2** *Descripción de recursos.* La estructura del suelo se caracteriza por tener una topografía bastante irregular, por su suelo montañoso, que se extiende desde la parroquia Bayushig hasta el Cantón Penipe.

**3.2.2.1** *Textura del suelo.* La textura del suelo en la zona determina tanto la capacidad de retención del agua de riego como la cantidad del agua aplicable al suelo con su correspondiente frecuencia de riego.

El análisis realizado al suelo de la zona, se ha determinado que el suelo es franco arenoso.

Tabla 2. Factores de Constitución que determina la calidad de un suelo cultivable.

<b>Textura</b>	<b>Franco arenoso</b>	
Cc	0,238	cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O/cm <sup>3</sup> suelo
Pmp	0,119	cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O/cm <sup>3</sup> suelo
Humedad	0,110	cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O/cm <sup>3</sup> suelo
Densidad Aparente	1,300	cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O/cm <sup>3</sup> suelo
Densidad real	2,483	cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O/cm <sup>3</sup> suelo
Porosidad	47,640	%

Fuente: GADM de Penipe

**3.2.3** *Requerimientos de agua y operación de cultivo*

*Evaporación.* Luego de un periodo de lluvia o riego, parte del agua que se aplica se pierde por evaporación directa a través de la superficie del suelo de la zona. La cantidad de agua perdida, en términos de porcentaje de cantidad de agua aplicada, depende de la magnitud y frecuencia de las aplicaciones de agua, y la fracción expuesta a la superficie del suelo.

Aplicaciones leves y frecuentes de agua generalmente resultan en altas pérdidas de agua por evaporación, inclusive en el caso de riego por goteo se estima que para un suelo totalmente descubierto, riego uniforme y una evapotranspiración potencial de 5 mm/día, la pérdida de evaporación por agua varía entre el 25% y 90% de la evapotranspiración potencial para intervalos de riego de 20 días y 2 días respectivamente.

La evaporación del agua depende del poder evaporante en cada punto en que se produce, pero también de:

- Cantidad de agua en la superficie evaporante
- Estado de dicha agua, es decir las fuerzas de retención a que puede estar sujeta.
- Características de dicha superficie, tamaño y naturaleza.

*Transpiración.* La transpiración se refiere a la evaporación del agua del suelo a través del sistema vascular de la planta. El volumen de agua transpirada dependerá de muchos factores como: la demanda evapotranspirativa, la etapa del desarrollo del cultivo y la cantidad de agua disponible del suelo de la zona de crecimiento de las raíces.

Para muchas cosechas se han encontrado que la transpiración comienza a disminuir y las plantas comienzan a sufrir por falta de agua una vez que aproximadamente la mitad del agua disponible del suelo en la zona de raíces haya sido extraída por la planta. La capacidad de retención del agua del suelo, pues, desempeña un rol clave en la determinación de la frecuencia y la cantidad de riego requerido para satisfacer las necesidades de agua de las plantas.

*Evapotranspiración.* Es la suma de la transpiración y el agua que se evapora del suelo. Factor que determina la cantidad de agua requerida para mantener una deseada humedad en el suelo y un nivel de salinidad apropiado durante el cultivo.

Para determinar la evapotranspiración correspondiente a cualquier otro cultivo (ET<sub>c</sub>), a partir de los valores de ET<sub>o</sub> se requiere de la determinación de un coeficiente de corrección, denominado coeficiente de cultivo (k<sub>c</sub>).

Las diferencias entre ET<sub>o</sub> y el ET<sub>c</sub>, están relacionadas con las diferentes fisiológicas entre el cultivo de referencia y el cultivo a estudiar, así como diferencias entre resistencias aerodinámicas y fisiológicas del cultivo a la evapotranspiración.

En la publicación de la FAO-56 se indica que las principales características que diferencian a un cultivo dado de referencia son las siguientes:

- *Altura del cultivo.* Este parámetro afecta la resistencia del cultivo al viento (resistencia aerodinámica), la cual afecta la magnitud de la evapotranspiración de cultivo.
- *Albedo.* Al albedo afecta la cantidad de radiación que es reflejada, lo que modifica el valor de radiación neta, la cual es la principal fuente de energía para el proceso de evapotranspiración.
- *Resistencia del cultivo.* Cada cultivo tiene un particular número de estomas (relacionado con su área foliar) y resistencia de los mismos al proceso de evapotranspiración.
- *Evaporación.* Cada cultivo cubre una determinada porción de suelo con respecto a su área total de influencia de cada una de sus parcelas. Esto produce cambios en la cantidad de agua que es evaporada a partir de las superficies húmedas al suelo. (LEON, 2004)

**3.2.4** *Calculo de la evapotranspiración de referencia (ETo).* Se utiliza los datos proporcionados por la estación meteorológica ESPOCH, basados en el método del tanque evaporímetro.

A pesar de la diferencia en los procesos ligados a la evaporación del tanque y la evapotranspiración de superficies cultivadas, el uso de la evaporación del tanque para predecir el ETo para periodos de 10 días puede ser considerado confiable si se usa correctamente. La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia de un coeficiente empírico derivado del mismo tanque:

$$ETo = Kp * E_{pam} \quad (1)$$

Donde:

ETo = evapotranspiración de referencia [mm/día]

Kp = coeficiente del tanque evaporímetro [Anexo D]

E<sub>pam</sub> = evaporación del tanque evaporímetro [mm/día]

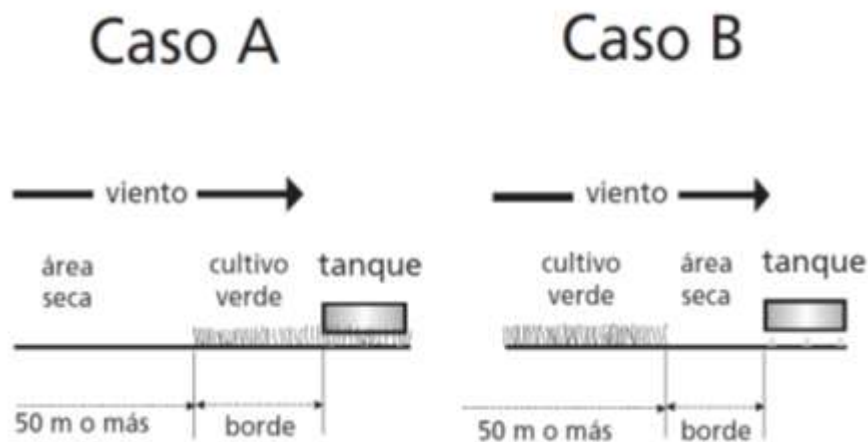
Evaporación del tanque evaporímetro (Epam). Son valores que se obtienen de anuarios referencias de promedios mensuales de la estación meteorológica ESPOCH.

**3.2.4.1** *Coeficiente del tanque evaporímetro (kp)*. Para seleccionar el coeficiente apropiado para un tanque evaporímetro dado, se debe considerar no solamente el tipo de tanque, sino también la cobertura del suelo donde se ubica el tanque, sus alrededores así como el viento y las condiciones generales de humedad. La localización y el ambiente del tanque evaporímetro también tiene influencias en los resultados, ver anexo D.

Lo último es particularmente cierto en casos en que el tanque evaporímetro se encuentra situado en suelos bajo barbecho y no en campos cultivados. Bajo esta característica, dos casos se consideran comúnmente:

- Caso A: en que el tanque evaporímetro se localiza en una zona de paso corto verde y está rodeada por un suelo en barbecho.
- Caso B: en que el tanque evaporímetro se localiza sobre un suelo en barbecho y está rodeado de un cultivo verde. Este es el caso que utiliza la estación meteorológica ESPOCH.

Figura 6. Casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores.



Fuente: FAO

Análisis manual para el mes de julio:

Epam = 4,44 mm/día (datos de anuario 2014)

Kp = 0,75 (Anexo D)

$$ET_o = 0,75 \left( 4,44 \frac{mm}{día} \right)$$

$$ET_o = 3,33 \frac{mm}{día}$$

Mediante el software CROPTWAL de la FAO se obtiene la tabla siguiente donde se calcula los valores de ETo para todos los meses en base a los datos del anuario climatológico 2014 ESPOCH.

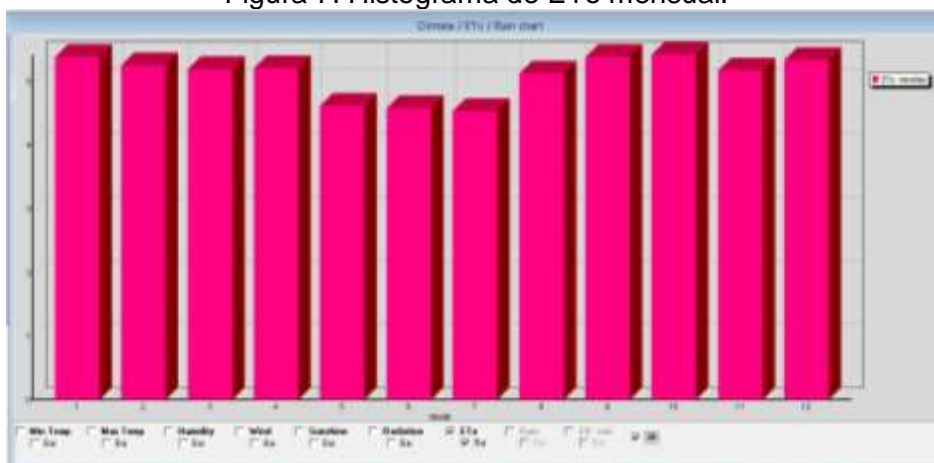
Tabla 3. Anuario climatológico 2014 ESPOCH

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind m/s	Sun hours	Rad MJ/m <sup>2</sup> /day	ETo mm/day
January	7.0	25.5	50	2.1	11.6	26.9	5.40
February	7.4	26.0	67	1.7	11.7	27.7	5.26
March	6.1	24.0	63	2.3	11.3	27.3	5.19
April	4.0	24.6	61	2.1	12.5	28.1	5.20
May	5.8	24.5	66	1.9	11.6	25.2	4.62
June	4.5	23.4	61	2.4	11.7	24.3	4.58
July	2.6	22.1	61	2.5	11.9	25.0	4.54
August	0.2	23.6	59	2.2	13.7	29.0	5.13
September	3.0	24.0	56	2.4	12.7	28.9	5.39
October	3.6	24.4	59	2.3	12.6	29.1	5.42
November	4.7	24.8	65	2.1	12.4	28.1	5.17
December	4.7	25.6	63	2.3	12.7	28.2	5.34
<b>Average</b>	<b>4.5</b>	<b>24.4</b>	<b>61</b>	<b>2.2</b>	<b>12.2</b>	<b>27.3</b>	<b>5.10</b>

Fuente: (Estación meteorológica ESPOCH) (FAO)

Como se observa en la tabla la evapotranspiración de referencia determinada para el sistema de riego a implementar está en el rango mínimo de 4,54 mm por día para el mes de Julio, mientras que la evapotranspiración de referencia máximo nos da para el mes de Octubre con un promedio de 5,42 mm por día.

Figura 7. Histograma de ETo mensual.



Fuente: (Estación meteorología ESPOCH) (FAO)

**3.2.5** *Determinación de la evapotranspiración de cultivo (ETc).* Para calcular el valor de la evapotranspiración de cultivo ETc, la FAO-56 propone una metodología basada en la siguiente ecuación:

$$ETc = Kc * ETo \quad (2)$$

Donde:

ETc = evapotranspiración de cultivo [mm/día]

ETo = evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/día]

Kc= coeficiente de cultivo [Anexo C]

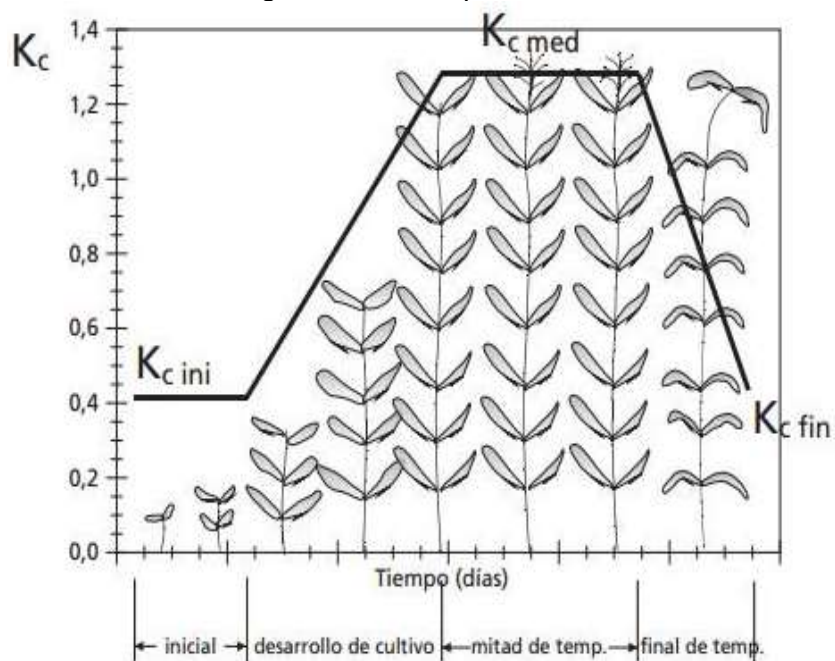
**3.2.5.1** *Coeficiente de cultivo.* Este coeficiente es un factor determinado experimentalmente en varios lugares del mundo y sus valores difieren para las distintas fases de desarrollo de cada cultivo. Al graficar estos valores en función del tiempo, se encuentra que forman una curva acampanada en la que los mínimos se ubican al comienzo y al final del ciclo vegetativo (cuando el cultivo esta pequeño y después de la formación del fruto) y los máximos coinciden aproximadamente con la floración.

El coeficiente de cultivo integra, en la forma de un coeficiente de corrección, todas las características fisiológicas y aerodinámicas del cultivo estudiado. El valor de Kc integra los efectos de la transpiración de las plantas y la evaporación que ocurre a partir de las superficies húmedas del suelo.

**3.2.5.2** *Construcción de la curva del coeficiente del cultivo.* La construcción de la curva del coeficiente del cultivo se realiza de la siguiente forma: a todos los días ubicados entre el día siembra (día cero) y el día correspondiente al final de la etapa inicial (45), se les asigna el valor de coeficiente de cultivo Kc correspondiente a la etapa inicial. Luego a los días ubicados entre el último día de la etapa de desarrollo y al último día de la etapa intermedia, se le asigna el valor correspondiente de la etapa intermedia. Finalmente, al último día de la etapa final se le asigna el valor de Kc correspondiente al resto de los días serán valores mencionados, los cuales pueden ser obtenidos por extrapolación.

Presentamos valores del coeficiente del cultivo Kc (Anexo C), correspondiente a distintos cultivos y etapa de desarrollo de los mismos y valores comunes de altura de los mismos basados en la FAO-56. (LEON, 2004).

Figura 8. Curva típica del Kc

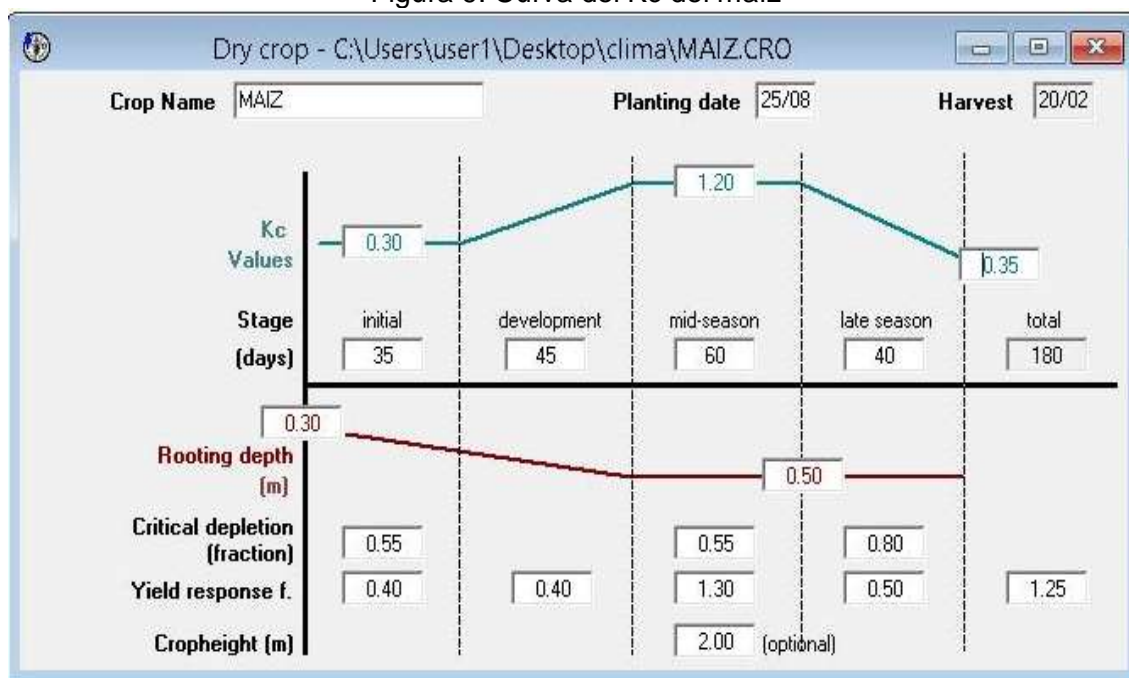


Fuente: FAO

A continuación tenemos los valores de Kc de los productos según el análisis de cultivo que se realizó con los usuarios.

*Kc - días siembra cosecha – profundidad reticular – agotamiento para el cultivo de maíz.*

Figura 9. Curva del Kc del maíz

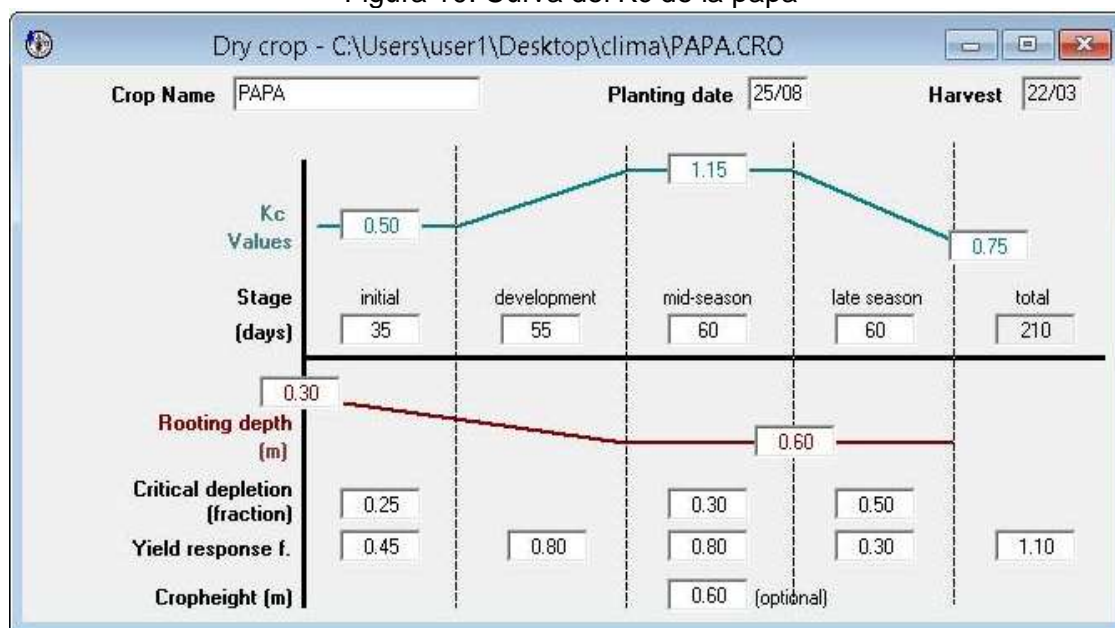


Fuente: FAO

De acuerdo a la información introducida en el software Croptwal de la FAO como resultado tenemos que, para el cultivo de maíz tenemos un Kc inicial de 0,30; un Kc intermedio 1,20 y un Kc final 0,35; el periodo de siembra cosecha de 180 días, es así que para la etapa inicial se logra determinar 35 días, para la etapa de desarrollo 45 días, para la etapa media 60 días y para la etapa de senescencia 40 días; la profundidad reticular inicia con 30 cm y finaliza con 50 cm por la temporada; la altura máxima del cultivo nos llegara hasta 200 cm; el agotamiento critico de consumo de agua se dará el 0,80% como máximo, y 0,55% como mínimo; esta información nos sirve para calcular el requerimiento de agua del cultivo.

*Kc – días siembra cosecha – profundidad reticular – agotamiento para el cultivo de papa*

Figura 10. Curva del Kc de la papa



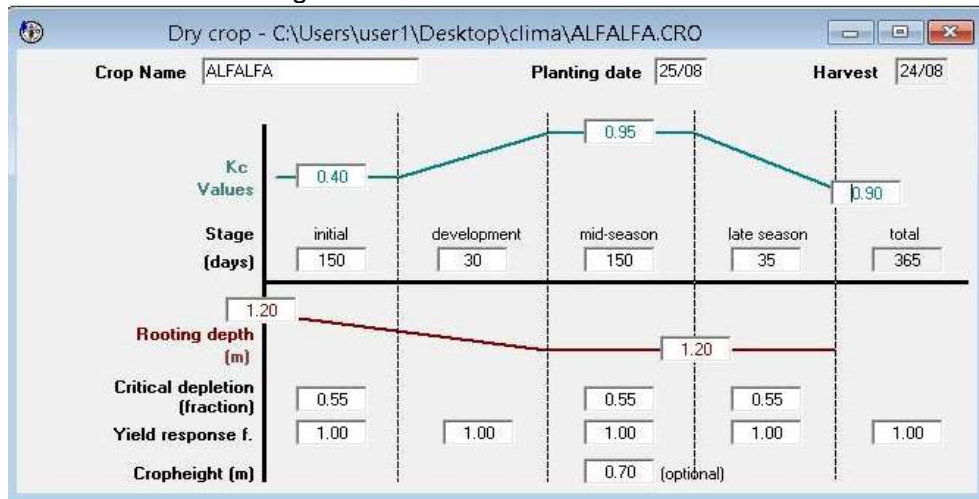
Fuente: FAO

De acuerdo a la información introducida en el software Croptwal de la FAO como resultado tenemos que, para el cultivo de papa tenemos un Kc inicial de 0,50; un Kc intermedio 1,15 y un Kc final 0,75; el periodo de siembra cosecha de 210 días, es así que para la etapa inicial se logra determinar 35 días, para la etapa de desarrollo 55 días, para la etapa media 60 días y para la etapa de senescencia 60 días; la profundidad reticular inicia con 30 cm y finaliza con 60 cm por la temporada; la altura máxima del cultivo nos llegara hasta 60 cm; el agotamiento critico de consumo de agua se dará el 0,50% como máximo, y 0,25% como mínimo; esta información nos sirve para calcular el requerimiento de agua del cultivo.



*Kc – días siembra cosecha – profundidad reticular – agotamiento para la alfalfa*

Figura 11. Curva del Kc de la alfalfa

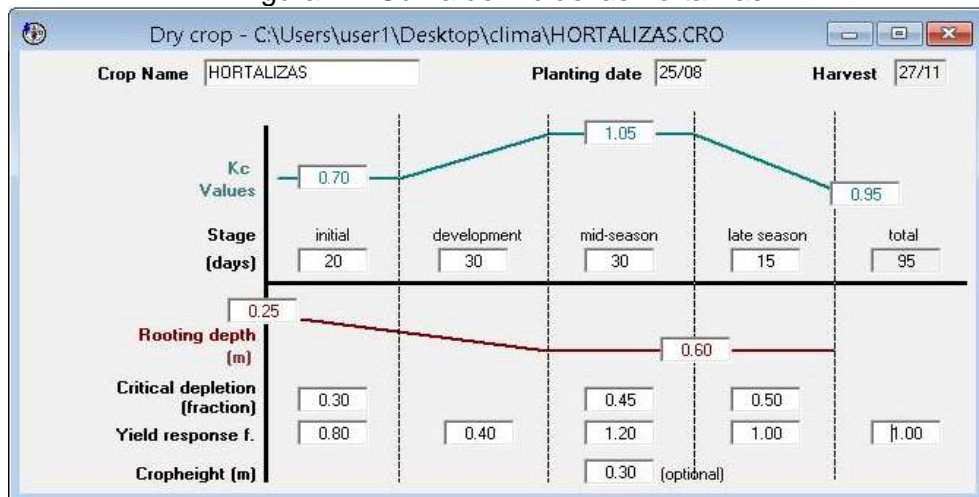


Fuente: FAO

De acuerdo a la información introducida en el software CROPTWAL de la FAO, para el cultivo de la alfalfa en toda sus etapas de desarrollo tenemos un Kc inicial de 0,40; un Kc intermedio 0,95 y un Kc final 0,90; es de anotar que este cultivo es perenne y el ciclo dura todo el año, es así que para la etapa inicial se logra determinar 150 días, para la etapa de desarrollo 30 días, para la etapa media 150 días y para la etapa de senescencia 35 días; la profundidad reticular se mantiene en 120 cm; la altura máxima del cultivo hasta 70 cm; el agotamiento crítico de consumo de agua es 0,55% como máximo; esta información nos sirve para calcular el requerimiento de agua del cultivo.

*Kc – días siembra cosecha – profundidad reticular – agotamiento para las de hortalizas*

Figura 12. Curva del Kc de las hortalizas

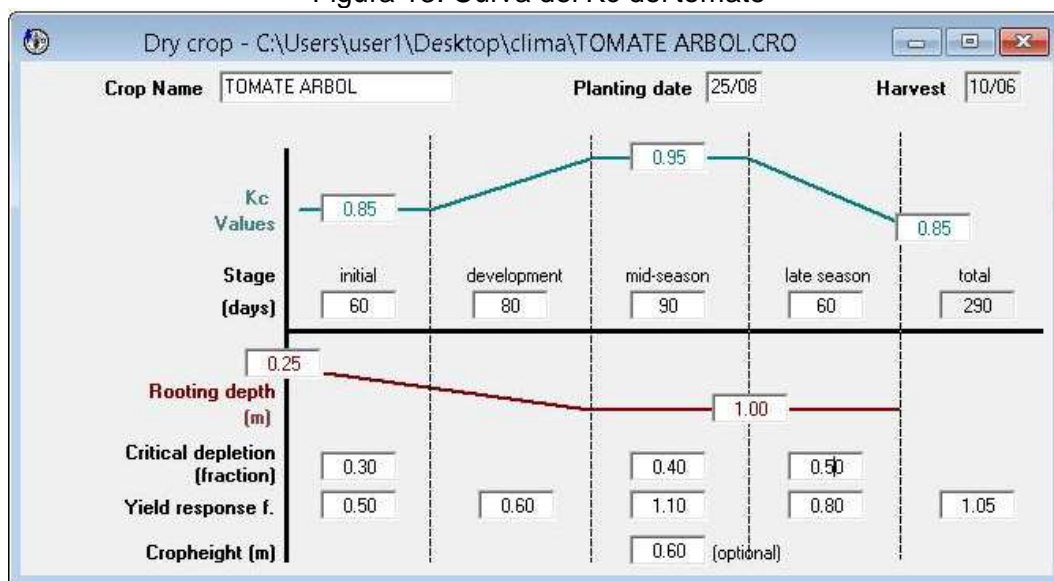


Fuente: FAO

De acuerdo a la información introducida en el software CROPTWAL de la FAO como resultado tenemos que, para el cultivo de hortalizas tenemos un Kc inicial de 0,70; un Kc intermedio 1,05 y un Kc final 0,95; el periodo de siembra cosecha de 95 días, es así que para la etapa inicial se logra determinar 20 días, para la etapa de desarrollo 30 días, para la etapa media 30 días y para la etapa de senescencia 15 días; la profundidad reticular inicia con 25 cm y finaliza con 60 cm por la temporada; la altura máxima del cultivo nos llegara hasta 60 cm; el agotamiento critico de consumo de agua se dará el 0,50% como máximo, y 0,30% como mínimo; esta información nos sirve para calcular el requerimiento de agua del cultivo.

*Kc – días siembra cosecha – profundidad reticular – agotamiento para el cultivo de tomate.*

Figura 13. Curva del Kc del tomate



Fuente: FAO

De acuerdo a la información introducida en el software CROPTWAL de la FAO como resultado tenemos que, para el cultivo de hortalizas tenemos un coeficiente de cultivo Kc inicial de 0,85; un coeficiente de cultivo Kc intermedio 0,95 y un coeficiente de cultivo Kc final 0,85; el periodo de siembra cosecha de 290 días, es así que para la etapa inicial se logra determinar 60 días, para la etapa de desarrollo 80 días, para la etapa media 90 días y para la etapa de senescencia 60 días; la profundidad reticular inicia con 25 cm y finaliza con 60 cm por la temporada; la altura máxima del cultivo nos llegara hasta 200 cm; el agotamiento critico de consumo de agua se dará el 0,50% como máximo, y 0,30% como mínimo; esta información nos sirve para calcular el requerimiento de agua del cultivo.

**3.2.6 Precipitación efectiva.** Es indispensable conocer la frecuencia y el volumen de las lluvias para poder planificar el riego. Como en un periodo dado cabe prever que las lluvias variaran considerablemente de un año para otro, se podrá considerar que unas lluvias medianas basadas en unos datos cortos constituyen, en el mejor de los casos, una aproximación muy somera y expuesta a grandes errores. Además, no toda la lluvia que cae resulta efectiva, parte de ella se pierde en forma de escorrentía, percolación profunda o evaporación.

Tabla 4. Precipitación mensual de lluvias, software Cromptal

	Rain	Eff rain
	mm	mm
<b>January</b>	9.6	9.5
<b>February</b>	90.5	77.4
<b>March</b>	29.9	28.5
<b>April</b>	43.8	40.7
<b>May</b>	68.5	61.0
<b>June</b>	17.3	16.8
<b>July</b>	6.0	5.9
<b>August</b>	8.5	8.4
<b>September</b>	6.6	6.5
<b>October</b>	49.3	45.4
<b>November</b>	37.2	35.0
<b>December</b>	18.2	17.7
<b>Total</b>	<b>385.4</b>	<b>352.8</b>

Fuente: (Estación meteorológica ESPOCH) (FAO)

La lluvia efectiva no es sino una parte de la lluvia total. Parte de la lluvia puede perderse debido a la escorrentía superficial, a una percolación profunda por debajo de la biosfera o a la evaporación de la lluvia interceptada por las hojas de la planta. En las regiones de lluvias fuertes e intensas pueden ocurrir que solamente entre y quede almacenada en la biosfera una parte de ellas y, por consiguiente, la eficiencia de la lluvia será baja. En el caso de lluvias frecuentes y ligeras puede ser muy importante la intercepción por las hojas de las plantas; las plantas húmedas tienen a transpirar menos, lo cual queda sin embargo más que contrarrestado por el aumento de evaporación de la lluvia interceptada por esas hojas.

*Reposición.* La reposición es la cantidad de agua en mm que se encuentra en la diferencia de la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva, obteniendo así un resultado de la absorción de agua por las raíces que compensa las pérdidas debido a la transpiración por las hojas.

En días calurosos y secos la planta necesita ejercer una función rápida de agua para detener la pérdida. Si el agua disponible del suelo es poca, o la superficie de absorción de las raíces es reducida, ocurrirá un marchitamiento temporal de la planta durante las horas de calor y sequía. Es indispensable esta condición atenderla si el ritmo de absorción es suficiente para abastecer la cantidad de agua determinada por el ritmo de transpiración. Por lo tanto debe regarse las zonas de raíces antes de ser utilizadas toda el agua disponible. (LOZANO MIGUEL, 1964).

$$\text{Reposición} = \text{ETc (mm/día)} - \text{precipitación efectiva (mm/día)} \quad (3)$$

**3.2.7** *Determinación del calendario de riego de los cultivos.* La información obtenida a partir de las estaciones meteorológicas es de una alta precisión, lo que permite hacer estimaciones confiables de la cantidad de agua que los cultivos necesitan para obtener una producción óptima.

Los valores de evapotranspiración de los (ETc) vienen expresadas en unidades de milímetros por día. Por ejemplo, si hablamos de que un cultivo de zanahoria evapotranspira una tasa de tres mm/día, esto equivale a decir que el cultivo necesita diariamente una lámina de agua de tres mm. Repartida uniformemente en el área o parcela cultivada. Esta lámina deberá ser suministrada al cultivo a través de riego o lluvia.

En la práctica, el riego no es aplicado diariamente sino cada cierto número de días, denominado como frecuencia o intervalo de riego. Para determinar la frecuencia con que se debe aplicar el riego al cultivo debemos considerar la cantidad máxima de agua que el suelo puede retener, en la zona de influencia de las raíces del cultivo, que puede ser disponible para las plantas.

**3.2.7.1** *Determinación del agua útil para riego.* Aunque el cultivo puede extraer el agua hasta el punto de marchitez permanente, a medida que el suelo se seca las plantas comienzan a emplear significativamente cantidades de energía para extraer el agua, lo que se traduce en situaciones de estrés, imposibilidad de satisfacer la demanda evapotranspiratoria, y posible reducción de productividad. Estas condiciones de estrés hídrico se manifiesta a partir de un contenido de humedad intermedio o umbral del cultivo entre capacidad de campo y punto de marchitez para cada uno de los cultivos presentes en la zona.

$$AU = (cc - Pmp) * da * z \quad (4)$$

Donde:

AU = agua útil o lamina total de agua disponible en la zona reticular [mm]

Cc = contenido de humedad a capacidad de campo [ $m^3H_2O/m^3Suelo$ ]

Pmp = contenido de humedad a punto de marchitez permanente [ $m^3H_2O/m^3Suelo$ ]

Da = densidad aparente del suelo [ $gr/cm^3$ ]

Z = profundidad de la zona reticular [mm]

**3.2.7.2** *Determinación de la lámina de riego.* Con el fin de considerar la cantidad de agua disponible para la planta, que puede ser fácilmente extraída por las plantas, se calcula la denominada lámina neta, a través de la siguiente ecuación:

$$Ln = umbral * Au \quad (5)$$

Donde:

Ln = lamina neta [mm]

Umbral = umbral de riego

Au = agua útil o lámina de agua disponible en la zona reticular [mm]

El valor del umbral dependerá de la sensibilidad del cultivo a la reducción del agua en el suelo, factores climáticos y factores económicos. Para cultivos delicados y con valor económico importante, es común adoptar umbrales de riego entre 0,3 y 0,4 (30 – 40%).

**3.2.7.3** *Determinación de la frecuencia de riego.* Conocida la lámina de agua y el umbral, se calcula la frecuencia de riego máxima, a través de la siguiente ecuación:

$$FR_{max} = \frac{Ln}{ETc} \quad (6)$$

Donde:

FR<sub>max</sub> = frecuencia de riego máximo [día]

Ln = lamina neta [mm]

ETc = evapotranspiración de cultivo [mm/día]

El valor de la frecuencia máxima representa el intervalo máximo entre riegos que permite satisfacer la demanda evapotranspiratoria para cada tipo de cultivo, en función del tipo del suelo y el umbral de riego adoptado. En la práctica se puede aplicar el riego utilizando cualquier intervalo de tiempo menor o igual al calculado, esto proporciona un ordenamiento en los turnos para cada usuario.

**3.2.7.4** *Determinación de la lámina bruta de riego.* Finalmente la lámina de riego a aplicar se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{ETc * FR}{Ef} \quad (7)$$

Donde:

Lb = lamina bruta de riego [mm]

Fr = frecuencia de riego [día]

ETc = evapotranspiración de cultivo [mm/día]

Ef = eficiencia del sistema de riego [%]

**3.2.7.5** *Determinación del volumen de riego.* El volumen de agua a aplicar se determina como:

$$V_{riego} = Lb * \text{área} \quad (8)$$

Donde:

$V_{riego}$  = volumen de riego a aplicar [l]

Lb = lamina bruta de riego [mm]

Área = área cultivada [m<sup>2</sup>]

Para el área cultivada a aplicar trabajaremos con una referencia de 10 000 m<sup>2</sup>, tomada de entre los 189 terrenos que se beneficiaran con el agua de riego y del sistema de riego por aspersión.

**3.2.7.6** *Análisis Tipo.* Para realizar un cálculo tipo tomaremos como referencia al cultivo de la alfalfa, ya que se le denomina como más crítico, en su etapa inicial en el mes de enero con una Z= 600 mm, como la alfalfa es perenne el mismo valor Z se utiliza para todo el año.

*Agua útil*; utilizando la ecuación (4) y reemplazando los datos proporcionados por el GAD de Penipe, tenemos:

$$AU = (0,238 - 0,119) * 1,3 * 600 \text{ mm}$$

$$AU = 92,82 \text{ mm}$$

*Evapotranspiración del cultivo*: reemplazando los valores respectivos en la ecuación (2), tenemos:

$$ETc = 0,95 * 3,33 \frac{\text{mm}}{\text{día}}$$

$$ETc = 3,1635 \frac{\text{mm}}{\text{día}}$$

*Reposición de agua necesaria*: con los valores antes calculados, utilizando la ecuación (3), tenemos:

$$Rep = 3,1635 - 0,56$$

$$Rep = 2,6035$$

*Lámina neta*: de acuerdo a la sensibilidad del cultivo, tenemos un valor de 0,5 y utilizando la ecuación (5), tenemos:

$$Ln = 0,5 * 92,82 \text{ mm}$$

$$Ln = 46,41 \text{ mm}$$

*Frecuencia máxima de riego*: con los datos obtenidos de la estación meteorológica y utilizando la ecuación (6), tenemos:

$$FR_{max} = \frac{46,41 \text{ mm}}{3,1635 \frac{\text{mm}}{\text{día}}}$$

$$FR_{max} = 15 \text{ días}$$

Para la lámina bruta es necesario la eficiencia del tipo de riego, para aspersión es del 60 %. Y mediante la ecuación (7) tenemos:

$$Lb = \frac{3,1635 * 15}{0,6}$$

$$Lb = 79,08 \text{ mm}$$

*Volumen de riego:* finalmente utilizando la ecuación (8) determinamos el volumen necesario para un área de 10 000 m<sup>2</sup>, tenemos entonces:

$$V_{riego} = 79,08 * 10\ 000 \text{ m}^2$$

$$V_{riego} = 790\ 800 \text{ lt}$$

A continuación se presenta el calendario de riego para el cultivo de alfalfa y cálculos de volumen de agua necesaria, mediante las ecuaciones analizadas anteriormente. Así también como el calendario de riego para los distintos cultivos presentes en la zona (Ver anexo E).



Tabla 5. Calendario de riego para la alfalfa.

Kc	
Inicial	0,40
Intermedio	0,95
Final	0,90

Fases	Días
Inicial	Permanente
Desarrollo	Permanente
Intermedio	Permanente
Final	Permanente

Umbral 0,5	
Cc [m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> Suelo]	0,238
Da [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,000
Pmp [mm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O/mm <sup>3</sup> Suelo]	0,119
Eficiencia riego %	70,00
Área riego [m <sup>2</sup> ]	10 000
Z [mm]	600,0

Mes	ETo [mm/día]	Precipitación [mm]	Prec. Efec [mm/mes]	Kc	ETc [mm/día]	Au [mm]	Lamina neta [mm]	frecuencia de riego [días]	Lamina bruta [mm]	Volumen de riego [l]
Enero	5,37	9,60	9,5	0,99	5,32	102	51	10	73	728 571
Febrero	5,26	90,5	77,4	0,94	4,99	102	51	10	73	728 571
Marzo	5,20	29,9	28,5	0,40	2,09	102	51	24	73	728 571
Abril	5,20	43,8	40,7	0,40	2,08	102	51	25	73	728 571
Mayo	4,62	68,5	61,0	0,40	1,93	102	51	26	73	728 571
Junio	4,59	17,3	16,8	0,40	1,84	102	51	28	73	728 571
Julio	4,53	6,00	5,90	0,47	2,15	102	51	24	73	728 571
Agosto	5,13	8,50	8,40	1,01	4,97	102	51	10	73	728 571
Septiembre	5,39	6,60	6,50	1,01	5,35	102	51	10	73	728 571
Octubre	5,42	49,3	35,0	1,01	5,45	102	51	9	73	728 571
Noviembre	5,18	37,2	35,0	1,01	5,30	102	51	10	73	728 571
Diciembre	5,33	18,2	17,7	1,01	5,32	102	51	10	73	728 571
<b>Promedio anual</b>										<b>8 742 852</b>

Fuente: FAO, Autores

**3.2.8 Selección del aspersor.** Existe una gran variedad de aspersores que varían en la presión que requiere y la cantidad de agua que arroja, es decir, el diámetro que pueden regar en una posición.

El tipo de aspersor depende de la necesidad del usuario del sistema de riego, el usuario tiene la alternativa de utilizar riego por aspersión como riego por goteo o por gravedad utilizando la presión según las necesidades.

Los aspersores por sus características pueden ser:

*De cabeza giratoria.* Este tipo de aspersor gira alrededor de un eje vertical, la rotación resulta del torque causado por la reacción que produce el agua al salir desde la boquilla al impactarse sobre el brazo giratorio del aspersor, existen tres clases de aspersores de este tipo que son:

- De giro rápido; usado para riego de jardines y plantas ornamentales.
- Gran cañón; puede descargar 5 a 10 l/s y cubre un diámetro de 75 a 190 m.
- De giro lento; con una descarga de 7 a 75 l/min y cubre un diámetro de 10 a 40 m, cabe señalar que este tipo de aspersores son equipados con una o dos boquillas que varían en sus diámetros de 1.5 mm a 15 mm.

*De cabeza fija o estacionaria.* Son utilizados normalmente en arbustos e invernaderos. En sistemas de riego agrícola este tipo es usado en forma de rociador.

*De boquilla.* Aplicable a regiones con alta humedad relativa, porque la velocidad máxima de aplicación que puede dar es aproximadamente de 1/4 in/h con boquillas especiales de 1/3 in/h como desventaja, se puede decir que es una de los más costosos.

Los más utilizados en la agricultura son los giratorios, porque giran alrededor de su eje y permiten regar superficies de 40°, 90°, 180°, 270° y 360°, al utilizar un deflector, lo que resulta de utilidad en algunos diseños en jardines, por ejemplo, para evitar mojar troncos de árboles, senderos o luces.

Impulsados por la presión de trabajo del agua que determina el diámetro mojado del aspersor, de esta manera a mayor presión, mayor radio de alcance.

Al modelo de aspersor que hemos adoptado por recomendación de los técnicos de Israriago y del centro experimental de riego ESPOCH, para nuestro diseño del sistema de riego es el de volumen reducido y el aspersor que brinda el requerimiento es del tipo “x Cel Wobbler” cuyos datos técnicos y aplicaciones de este tipo de aspersor anotamos a continuación:

*Características técnicas.* Existen una extensa variedad de aspersores según la necesidad, aquí explicamos la característica de un aspersor más común en la utilización de riegos.

El aspersor se encuentra marcado con una presión de trabajo de 25 psi para su funcionamiento y con caudales de 1,23 gpm, así como su espaciamento máximo entre aspersores de 10 m, son los datos que usaremos para realizar los cálculos respectivos que veremos más adelante. (TARJUELO, 1999).

Figura 14. Aspersor x-Cel Wobbler



Fuente: (PLASTIGAMA, 2015)

Xcel-Wobbler Sprinkler Base Pressure-US	psi				Sprinkler Base Pressure-Metric	bar			
	10	15	20	25		0.69	1.03	1.38	1.72
#6 Nozzle - Gold (3/32")					#6 Nozzle - Gold (2.38 mm)				
Flow (gpm)	0.78	0.95	1.10	1.23	Flow (L/hr)	177	216	250	279
HA Diam. at 1.5 ft ht (ft)	36.5	41.0	45.0	46.0	HA Diam. at 0.46 m ht (m)	11.1	12.5	13.7	14.0
MA Diam. at 1.5 ft ht (ft)	32.0	35.0	38.5	41.0	MA Diam. at 0.46 m ht (m)	9.8	10.7	11.7	12.5
#7 Nozzle - Lime (7/64")					#7 Nozzle - Lime (2.78 mm)				
Flow (gpm)	1.06	1.30	1.50	1.68	Flow (L/hr)	241	295	341	382
HA Diam. at 1.5 ft ht (ft)	40.0	46.5	47.0	50.5	HA Diam. at 0.46 m ht (m)	12.2	14.2	14.3	15.4
MA Diam. at 1.5 ft ht (ft)	33.0	36.5	40.5	41.0	MA Diam. at 0.46 m ht (m)	10.1	11.1	12.4	12.5
#8 Nozzle - Lavender (1/8")					#8 Nozzle - Lavender (3.18 mm)				
Flow (gpm)	1.40	1.71	1.98	2.21	Flow (L/hr)	318	388	450	502
HA Diam. at 1.5 ft ht (ft)	42.0	46.5	47.0	51.5	HA Diam. at 0.46 m ht (m)	12.8	14.2	14.3	15.7
MA Diam. at 1.5 ft ht (ft)	34.0	38.5	41.0	42.5	MA Diam. at 0.46 m ht (m)	10.4	11.7	12.5	13.0

*Aplicaciones principales.*

- El x-Cel Wobbler con su nuevo diseño de balanceo mucho más suave, maximiza el área de cobertura, proporcionando una notable uniformidad.
- Irrigación en altura y germinación de hortalizas, patatas, flores, viveros e invernaderos.
- Desarrollados especialmente con los soporte elevadores con conectores para aspersores de 1/2" que es una varilla galvanizada de 5/16", tubo y conectores rápidos de polietileno de 8 mm de diámetro y 1 m de longitud.
- Mayor diámetro a bajas presiones, con menos pérdidas de evaporación.
- De construcción fuerte y de gran durabilidad, único aspersor con dos años de garantía.
- Menos pérdida de agua con una aplicación inmediata parecida a una lluvia natural.
- El x-Cel Webbler disponible con conexión a rosca hembra 1/2" y 3/4".

Trabajaremos con el cultivo de alfalfa, el volumen necesario por día es de 24,3 m<sup>3</sup>, es una referencia para el cálculo del diseño de bocatoma, desarenador y tanque de almacenamiento que se analizara en obras civiles. (PLASTIGAMA, 2015).

*Pluviosidad media del sistema (Pms).* Este parámetro representa la pluviosidad que se obtendría si se distribuyera uniformemente el caudal emitido por el aspersor en la superficie que teóricamente riega de acuerdo al marco adoptado.

$$Pms = \frac{227,12 * Q}{Elat * Easp} \quad (9)$$

Donde:

Pms = pluviosidad del sistema [mm/h]

Q = caudal del aspersor [gpm]

Elat = espaciamiento entre laterales [m]

Easp = espaciamiento entre aspersores [m]

$$Pms = \frac{227,12 * 1,23 \text{ GPM}}{10m * 10m}$$

$$Pms = 2,79 \frac{mm}{h}$$

Para que al sistema sea realmente rentable no suele ser frecuente que la pluviosidad supere los 3 o 4 mm/h, en este caso tenemos 2,79 mm/h.

*Tiempo máximo permisible de riego (tr)*. Es el tiempo aproximado para completar un riego en el campo.

$$t_r = \frac{Lb}{Pms} \quad (10)$$

Donde:

Tr = tiempo de riego [h]

Lb = lamina bruta por riego [mm/h]

Pms = pluviosidad media del sistema [mm/h]

$$t_r = \frac{6,08 \text{ mm}}{2,79 \text{ mm/h}}$$

$$t_r = 2,18 \text{ h}$$

### 3.3 Diseño de obras civiles

**3.3.1 Bocatoma.** El diseño de la bocatoma lateral que se requiere para el sistema de abastecimiento de agua para las localidades de Ugñag, Puchiquies, Cristo Rey y Calvario suman un total de 189 usuarios, y se diseñara de acuerdo a los datos obtenidos y calculados anteriormente que son: (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

Dotación = 23 502,29 litros/usuario.día

El sitio de la captación presenta la siguiente información:

Ancho del rio = 3,20 m

Pendiente del río = suave  
 Fondo del río = 0,15 m  
 Nivel de aguas mínimo = 2 781,7 msnm  
 Nivel de aguas máximo = 2 782 msnm  
 Caudal mínimo = 45 l/s  
 Caudal máximo = 75 l/s

**3.3.1.1 Selección de la bocatoma.** Se ha escogido para la bocatoma una captación lateral por las siguientes razones.

- Menor posibilidad de obstrucción de la rejilla
- El hecho de que el río tenga pendiente suave
- El nivel mínimo es relativamente alto

**3.3.1.2 Caudal a captar.** Se captara un caudal igual al caudal máximo diario que consume el cultivo de alfalfa, a fin de dar un margen de seguridad, previendo que se presente obstrucción en la rejilla y para una posible ampliación del sistema en el futuro.

Caudal de diseño,

$$C. m. D = \frac{P * d}{86\ 400} \quad (11)$$

Donde:

CmD =  $Q_{diseño}$  = caudal máximo diario [l/s]

P = población de diseño

d = dotación [l/usuario.día]

$$Q_{diseño} = \frac{189\ usuario * 23\ 502,29 \frac{lt}{usuario * día}}{86\ 400}$$

$$Q_{diseño} = 51,4 \frac{lt}{s}$$

**3.3.2 Diseño del desarenador.** Para el diseño del desarenador se calculó en primera instancia la velocidad de sedimentación de las partículas de arena que pasan a través de la bocatoma, entonces: (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

Datos:

Arena media (tamaño) = 0,5 mm – 0,25 mm

Gravedad específica = 2,65 – 2,67

Temperatura del agua = 16°C

La viscosidad del agua para 16°C,

$$\mu_{16^{\circ}\text{C}} = \mu_{10^{\circ}\text{C}} * \frac{33,3}{T^{\circ}\text{C} + 23,3} \quad (12)$$

$$\mu_{16^{\circ}\text{C}} = 0,0131 * \frac{33,3}{16^{\circ}\text{C} + 23,3} = 0,0111$$

La velocidad de sedimentación de la partícula de arena será calculada mediante la ecuación de Stokes.

$$V_s \approx \frac{g}{18} * \frac{(S_s - 1)d^2}{V} \quad (13)$$

Donde:

$V_s$  = Velocidad de sedimentación [cm/s]

$g$  = Aceleración de la gravedad en [cm/s<sup>2</sup>]

$S_s$  = Gravedad específica de la partícula a sedimentar

$d$  = tamaño de la partícula [cm]

$V$  = Viscosidad cinemática del agua en [cm<sup>2</sup>/s]

$$V_s = \frac{980}{18} \frac{(2,65 - 1)(0,03)^2}{0,0111}$$

$$V_s = 7,28 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 72,8 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Es conveniente para este tipo de cálculos, promediar la anterior velocidad de sedimentación, con la velocidad de sedimentación de arenas para cualquier temperatura utilizando la Tabla 6, a fin de encontrar la velocidad de sedimentación para el diseño del desarenador.

Tabla 6. Relación entre diámetro de partícula y velocidad de sedimentación.

Material	Ø Partículas límite	Numero de Reynolds	Velocidad sedimentación	Régimen	Ley aplicada
Grava	1 cm	> 10 000	= 100 cm/s	Turbulento	Newton
Arena gruesa y media	0,10 cm	≈ 1 000	10,0 cm/s	Transición	Allen
	0,08 cm	≈ 660	8,3 cm/s	Transición	
	0,06 cm	≈ 380	6,3 cm/s	Transición	
	0,05 cm	≈ 27	5,3 cm/s	Transición	
	0,04 cm	≈ 17	4,2 cm/s	Transición	
	0,03 cm	≈ 10	3,2 cm/s	Transición	
	0,02 cm	≈ 4	2,1 cm/s	Transición	
	0,015 cm	≈ 2	1,5 cm/s	Transición	
Arena fina	0,010 cm	≈ 0,8	0,8	Laminar	Stokes
	0,008 cm	≈ 0,5	0,6	Laminar	
	0,006 cm	≈ 0,24	0,4	Laminar	
	0,005 cm	< 1,0	0,3	Laminar	
	0,004 cm	< 1,0	0,2	Laminar	
	0,003 cm	< 1,0	0,13	Laminar	
	0,002 cm	< 1,0	0,06	Laminar	
	0,001 cm	< 1,0	0,015	Laminar	

Fuente: (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

$$V_{sT^{\circ}C} = V_{s10^{\circ}C} * \frac{T^{\circ}C + 23,3}{33,3} \quad (14)$$

$$V_{sT^{\circ}C} = 3,2 * \frac{16 + 23,3}{33,3}$$

$$V_{sT^{\circ}C} = 3,77 \frac{cm}{s}$$

Para la partícula en cuestión, se tomara un valor promedio para la velocidad de sedimentación.

$$V_{16^{\circ}C} = \frac{7,28 + 3,77}{2}$$

$$V_{16^{\circ}C} = 5,525 \frac{cm}{s}$$



Entonces, tomaremos para esta partícula, una velocidad de sedimentación  $V_s = 5,525$  cm/s. Por motivos de diseño y espacio físico, tomaremos una profundidad útil de 2,00 m.

Ahora, el tiempo de caída de la partícula está dado por:

$$t = \frac{H}{V_s} \quad (15)$$

$$t = \frac{200 \text{ cm}}{5,525 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}$$

$$t = 36,19 \text{ s}$$

Calculo del tiempo de retención

Tabla 7. Valores de a/t

Condiciones	Remoción 50%	Remoción 75%	Remoción 87,5%
Máximo teórico	0,50	0,75	0,875
Depósitos con muy buenos deflectores	0,73	1,52	2,370
Depósitos con buenos deflectores Deposito con deficientes	0,76	1,66	2,750
Deflectores o sin ellos	1,00	3,00	7,000

Fuente: (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

De la tabla 7, que muestra la relación a/t para depósitos sin deflectores y 75% de remoción,  $a/t = 3$ .

Luego,

$$\frac{a}{t} = 3 \quad (16)$$

$$a = 3 * 36,19 \text{ s} = 108,59 \text{ s}$$

La capacidad del desarenador está dada por,

$$C = Q * a \quad (17)$$

$$C = 0,0514 \frac{m^3}{s} * 108,59 s$$

$$C = 5,58 m^3$$

La superficie del desarenador está dada por,

$$A = \frac{C}{H} \quad (18)$$

$$A = \frac{4,186 m^3}{1,5 m}$$

$$A = 2,79 m^2$$

Se compara la superficie disponible contra la requerida así:

$$A_r = \frac{Q}{V_s} \quad (19)$$

$$A_r = \frac{0,0514 m^3/s}{0,05525 m/s}$$

$$A_r = 0,93 m^2$$

$$A > A_r , \text{ Si cumple}$$

Las dimensiones de la zona de sedimentación se obtienen así;

$$L = 4 * b \quad (20)$$

$$A = L * b \quad (21)$$

$$b = \sqrt{\frac{A}{4}} \quad (22)$$

$$b = \sqrt{\frac{2,79 m^2}{4}}$$

$$b = 0,835m, \quad L = 3,34 m$$

Se adopta.

L = 4 m (largo de la zona de sedimentación)

B = 1m (ancho de la zona de sedimentación)

H = 2 m (profundidad del desarenador)

*Vertedero de exceso*, se trata de una bocatoma de tipo lateral donde la cota de aguas máxima es 2 817 y la cota de aguas normales en el desarenador es de 2 814. Con una línea de aducción de 30 m de longitud, por tubería de hormigón y de diámetro 6”.

Tabla 8. Valores de C para formula de Hanzen-Williams

<b>Tipo de tubería</b>	<b>C</b>
Asbesto cemento	140
Latón	130 - 140
Ladrillo para alcantarillas	100
Hierro colado	
- Nuevo, sin revestir	130
- Viejo, sin revestir	40 - 120
- Revestido de cemento	130 - 150
- Revestido de esmalte bitumástico	140 - 150
- Cubierto de alquitrán	115 - 135
De hormigón o revestido de hormigón	
- Cimbras de acero	140
- Cimbras de madera	120
- Centrifugado	135
Cobre	130 - 140
Manguera de incendio (recubierta de hule)	135
Hierro galvanizado	120
Vidrio	140
Plomo	130 - 140
Plástico	140 - 150
Acero	
- Revestido de alquitrán de hulla	145 - 150
- Nuevo, sin revestir	140 - 150
- Remachado	110
Estaño	130
Barro vidriado	100 - 140

Fuente: (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

El caudal que transporta la línea de aducción desde la bocatoma hasta el tanque de almacenamiento, bajo las anteriores consideraciones se determina con la fórmula de Hanzen-Williams. De esta forma determinamos el caudal en teoría será el que sobrepase el límite de llenado del tanque.

$$Q = 0,2785 * C * D^{2,63} * J^{0,54} \quad (23)$$

$$Q = 0,2785 * 140 * (0,0254 * 6'')^{2,63} * \left(\frac{2\,817 - 2\,814}{30}\right)^{0,54}$$

$$Q = 79,8 \frac{l}{s}$$

Se diseña el vertedero de exceso para el mayor caudal. Para ello se utiliza la fórmula de Francis.

$$Q = C * L * H^{3/2} \quad (24)$$

Asumo  $H = 0.15 \text{ m}$ , entonces

$$L = \frac{Q}{C * H^{3/2}}$$

$$L = \frac{0,0798 \text{ m}^3/s}{(1,84 \text{ m})^{1/2} * (0,15 \text{ m})^{3/2}}$$

$$L = 1,013 \text{ m}, \text{ se prefiere } 1\text{m}$$

*Diseño del vertedero de salida.*

Se utiliza un vertedero a todo lo ancho del desarenador, diseñado a partir de la fórmula de Francis. Aplicando en la ecuación (24), tenemos:

$$b = 0,95 \text{ m}$$

$$H = \left(\frac{Q}{C * b}\right)^{2/3} = \left(\frac{0,0514}{1,84 * 0,95}\right)^{2/3}$$

$$H = 0,095 \text{ m}$$

Se tiene entonces:

$$b = 0,95 \text{ (ancho del desarenador)}$$

$$h = 0,095 \text{ (altura del vertedero de salida)}$$

**3.3.3 Cálculo y selección del diámetro de la tubería de presión.** La tubería de presión que transporta el agua desde el desarenador hasta el tanque de almacenamiento es uno de los parámetros más importantes para el buen funcionamiento del sistema, por lo cual debemos considerar los materiales frecuentemente utilizados en estas instalaciones, tomando en cuenta los diferentes tipos de uniones, su peso y grado de dificultad de la estación, costo, transporte hasta el sitio de instalación, y entre otros factores importantes para su selección.

Tabla 9. Comparación de los diferentes materiales para tuberías de presión.

Material	Perdida por fricción	Peso	Corrosión	Costo	Presión de trabajo
Acero comercial	3	3	3	2	5
PVC	5	5	4	4	4
Polietileno	5	5	5	3	4
Rango: Malo = 1, Excelente = 5					

Fuente: (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

El cálculo del diámetro de la tubería de presión se determina con la ecuación según Bondschu:

$$D = 1,27 * \frac{Q^{0,4268}}{(H_B + h_s)^{0,1423}} \quad (25)$$

Donde:

D = diámetro [m]

Q = caudal de diseño [m<sup>3</sup>/s]

H<sub>b</sub>= altura bruta [m]

h<sub>s</sub> = altura sobrepresión por golpe de ariete = 0,3 m

$$D = 1,27 * \frac{0,0514^{0,4268}}{(56 + 0,3 * 56)^{0,1423}}$$

$$D = 0,194 \text{ m}$$

$$D \cong 8 \text{ in}$$

La tubería de presión a seleccionar es la de PVC de Plastigama de las siguientes características:

Diámetro nominal = 200 mm

Diámetro Interior = 181 mm

Espesor nominal = 9,5 mm

Presión de trabajo = 1,25 MPa = 181 Psi = 12,75 kgf/cm<sup>2</sup>

Rugosidad absoluta =  $1,15 \cdot 10^{-6}$  m

Módulo de elasticidad del material = 27 580 kgf/cm<sup>2</sup>

Resistencia última a la tensión = 45 MPa

Esfuerzo máximo admisible = 30 MPa

**3.3.4** *Diseño del tanque de almacenamiento.* Los depósitos más conocidos son los de planta regular, estos se emplean en obras de pequeña y gran importancia, pudiendo clasificarse desde el punto de vista de sustentación en depósito enterrados, semienterrados, superficiales y elevados.

Para el diseño del tanque tenemos un caudal de 51,4 l/s, y el tiempo de llenado será en las horas que no se distribuye el agua para el riego, que es, desde las 18H00 hasta las 06H00 del siguiente día, teniendo un tiempo de 12 horas; con estos datos calculamos el volumen.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (26)$$

$$V = Q * t$$

$$V = 51,4 \frac{l}{s} * 12 \text{ horas} * 3 600 \text{ seg}$$

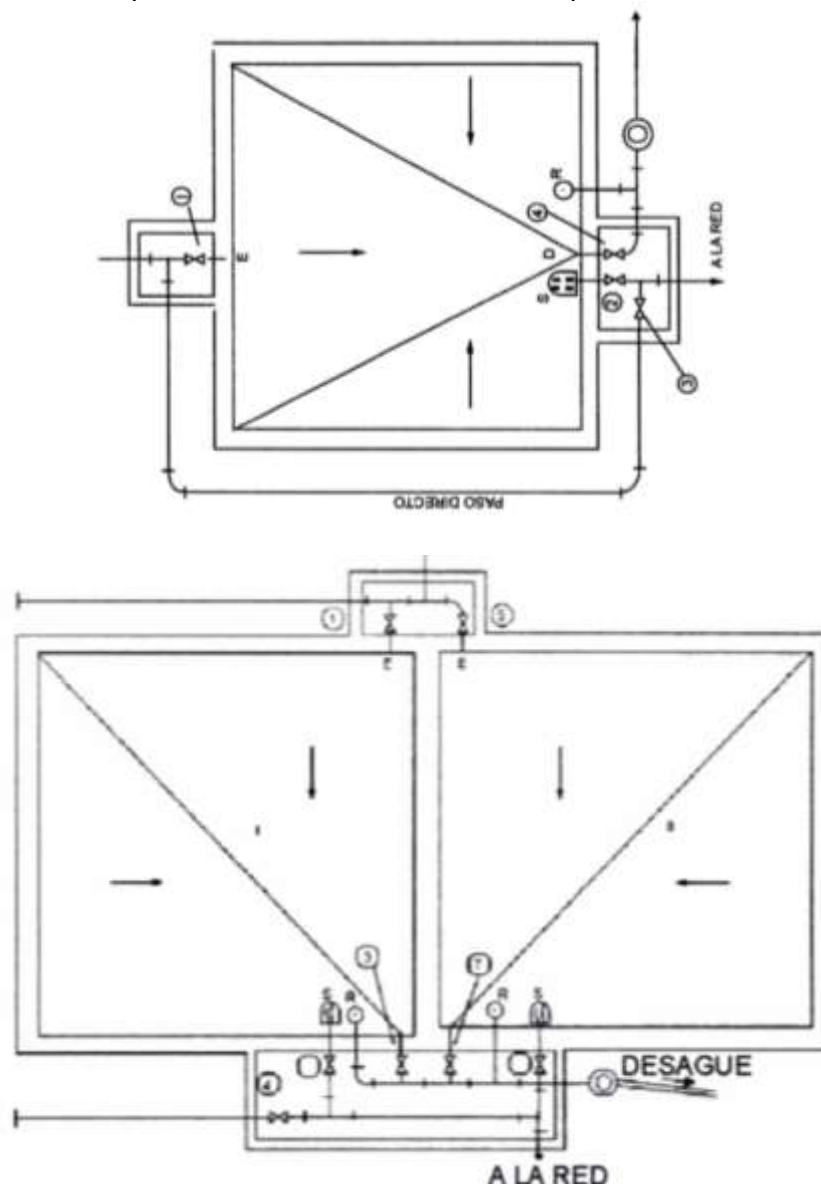
$$V = 2 220 480 \text{ litros}$$

$$V = 2 220,480 \text{ m}^3$$

Este será el volumen de agua que se almacenará durante la noche; por la forma y disposición del terreno optaremos por un tanque rectangular, el espacio físico disponible es de 18x90 m y la capacidad será de 4 500 m<sup>3</sup>, para satisfacer el consumo de todos los usuarios, para cubrir daños e interrupciones en bocatoma, aducción, desarenador, conducción y posibles integraciones de más áreas de riego.

**3.3.4.1 Tubería de llegada al tanque.** El diámetro está definido por el de la línea de conducción. Debe estar provista de una válvula de igual diámetro antes de la entrada al tanque y tener un by-pass para atender situaciones de emergencia. Si se trate de tanques de dobles, la bifurcación se hará manteniendo el diámetro para ambas derivaciones y dotado de válvulas a cada una.

Figura 15. Disposición de las válvulas en el tanque de almacenamiento.



Fuente: (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

**3.3.4.2 Tubería de salida.** El diámetro de la tubería se salida corresponde al diámetro de la tubería que conduce el agua del tanque a la red, la cual queda diseñada cuando se diseña la red de distribución. Se lo debe proveer una válvula, antes de la unión hacia una sola línea de distribución. Ver figura 15. La ubicación de la salida respecto a la entrada debe reducir al mínimo las posibilidades de cortocircuito. (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

**3.3.4.3 Tubería de lavado del tanque.** La tubería de lavado del tanque de almacenamiento debe ser de un diámetro tal que facilite el vaciado del tanque en su totalidad, en un periodo comprendido entre 2 y 4 horas. El tiempo de vaciado está dado por la expresión:

$$t = \frac{2 * S * (h)^{1/2}}{\mu * A * \sqrt{2g}} \quad (27)$$

Donde:

t = tiempo de vaciado [s].

S = superficie del tanque [m<sup>2</sup>]

A = área de la tubería [m<sup>2</sup>]

μ = Coeficiente que depende de la relación L/D, siendo L la longitud de la tubería recta o la longitud equivalente, acorde con los accesorios, y D el diámetro de la tubería.

h = altura de la lámina de agua [m].

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{0,0431 (L/D) + 1,62}} \quad (28)$$

$$t = \frac{2 * 1\,600 * (2,25)^{1/2}}{0,7 * 0,16 * \sqrt{2 * 9,81}}$$

$$t = 9\,675,5 \text{ seg}$$

$$t = 2,687 \text{ horas}$$

**3.3.4.4 Tubería de rebose.** El caudal de rebose lo controla esta tubería en su punto de descarga. Si el tramo final de la tubería va sobre el terreno para descargar el descole, este debe trabajar a tubo parcialmente lleno.



La tubería de rebose se debe diseñar de tal manera que la capacidad del transporte sea igual o ligeramente mayor que el caudal máximo diario. El diámetro se determina mediante la ecuación de Manning.

$$V = \frac{R_{H^{2/3}} * J^{1/2}}{n} \quad (29)$$

Donde:

$J = 0,132$  [dato de campo]

$n = 0,008$  [PVC]

QMH = 51,4 l/s

$$Q = \frac{R_{H^{2/3}} * J^{1/2} \pi * D^2}{n * 4}, R_H = \frac{D}{4}$$

$$Q = \frac{\pi * D^{8/3} * J^{1/2}}{4^{5/3} * n}$$

Para  $\theta = 6''$  se tiene:

$$Q = \frac{\pi * (6'' * 0,0254)^{8/3} * 0,132^{1/2}}{4^{5/3} * 0,008}$$

$$Q = 34,1 \frac{l}{s}$$

Para  $\theta = 7''$  se tiene:

$$Q = 51,4 \frac{l}{s}$$

Este caudal es igual al caudal máximo diario, este valor permite tomar la decisión de escoger para la tubería de rebose un diámetro de 7'', pero por motivos de seguridad se optara por una tubería de 8'' de diámetro.

**3.3.4.5** *Análisis estructural del tanque de almacenamiento.* Aunque existen gran variedad de estas estructuras, es posible establecer clasificaciones apropiadas, atendiendo a los siguientes criterios:

- Los materiales de que están contruidos
- Forma del tanque
- Posición respecto a la superficie

Es conveniente tener presente la importancia arquitectónica de los tanques de almacenamiento. El diseño arquitectónico de los tanques (en particular los elevados) puede y debe contribuir al mantenimiento del paisaje urbano. En realidad no existen razones de orden económico ni técnico que obliguen a dejar de lado un esfuerzo de diseño que resulte agradable a la vista. Sin embargo, aun que observan tanques cuya forma y apariencia podrían mejorarse en gran medida. (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

**3.3.4.5.1** *Diseño de paredes sometidas a empuje de tierras.* La placa se considera empotrada en tres de sus extremos y el borde superior como apoyo articulado. La posición más desfavorable es cuando el tanque está vacío, ya que toda la carga de del terreno actúa sobre él. Se trabaja con el método de Poisson  $\mu = 0,20$  para darle mayor rigidez en el sentido del empuje de la tierra.

*Para las paredes.*

$$q' = r_w * h \quad (30)$$

Donde:

$r_w$  = peso específico del agua en  $[t/m^3]$

$q'$  = carga que actúa sobre las paredes en  $[t/m^3]$

$h$  = altura en  $[m]$ .

*Losa de fondo.* Se diseña de igual forma que la losa de cubierta, diferenciándose únicamente en la determinación de la carga  $q$  y los momentos de diseño.

Determinamos la carga  $q$ ,

$$\text{Carga muerta, } CM = 2,4 L. e \text{ (t/m)}$$

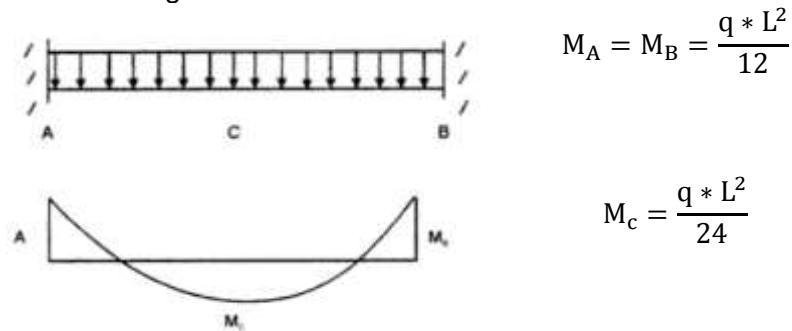
El peso del agua, al no ser carga constante, debido a las fluctuaciones del nivel, se tomara como carga viva. A esta carga viva se le suma la carga mínima del código para efectos de alguna reparación o mantenimiento del tanque en su interior.

$$CV_{min} = 0,035 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

$$q = 1,4 \text{ CM} + 1,7 \text{ CV} \quad (31)$$

La losa de fondo va embebida en las vigas perimetrales y en las paredes del tanque, por lo tanto se diseña como una viga empotrada-empotrada, cuya distribución de momentos es la siguiente:

Figura 16. Distribución de momentos



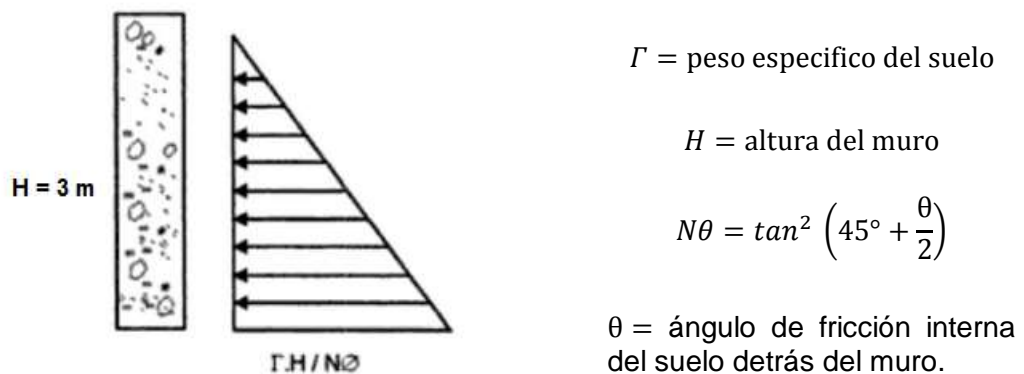
Fuente: (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

A partir de estos momentos se diseña la losa de fondo. Al diseñar con esfuerzos en las dos direcciones, no se requiere calcular el esfuerzo por temperatura, ya que el esfuerzo principal absorbe los problemas de contracción y dilatación que puede sufrir la placa.

### 3.3.4.6 Memoria de cálculo.

Tanque semi-enterrado (capacidad = 4 500 m<sup>3</sup>). Si se desarrolla un empuje activo de tierras por deflexión en el muro cuando el tanque está vacío, se tendrá la siguiente distribución de presiones

Figura 17. Distribución de presiones



Fuente: (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

Para el suelo correspondiente tenemos un  $\Gamma = 1\,920\text{ kg/m}^3$  y un ángulo de fricción interna de 0,1; tenemos que:

$$N\theta \cong 1$$

$$q = \frac{\Gamma * H}{N\theta} = 1\,920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 3\text{ m} = 5\,760 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * c/m$$

Las dimensiones exteriores del tanque son:

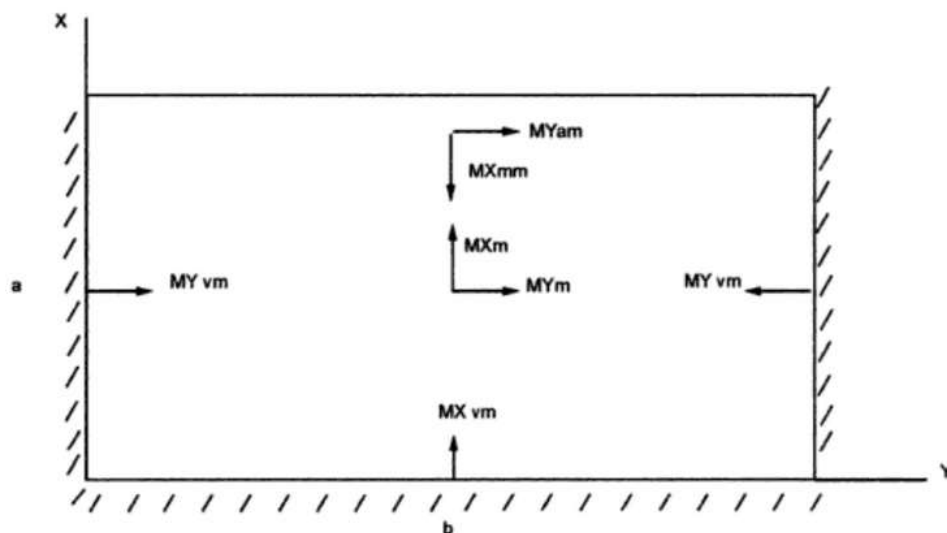
Ancho = 18 m

Largo = 90 m

Profundidad = 3 m

Entonces,  $a = 3$ ;  $b = 18$ ;  $a/b = 0,17$

Figura 18. Esquema de cargas.



Fuente: (CORCHO ROMERO Freddy, 2005)

De las tablas de bares obtenemos los siguientes momentos:

$MY_{VS}$  = momento de empotramiento en pared lateral en sentido Y.

$$MY_{VS} = -0,01213 q b^2 = -0,01213 * 5\,760 * 18^2 = -22\,637,49\text{ kg m}$$

$MX_{VS}$  = momento de empotramiento en el fondo y en sentido X.

$$MX_{VS} = -0,08970 q a^2 = -0,08970 * 5\,760 * 3^2 = -4\,650,048\text{ kg m}$$

$MX_S$  = momento en el centro de la placa en sentido X.

$$MX_S = 0,00834 q a^2 = 0,00834 * 5\,760 * 3^2 = 432,3456 \text{ kg m}$$

$MY_S$  = momento en el centro de la placa en sentido Y.

$$MY_S = 0,00400 q b^2 = 0,00400 * 5\,760 * 18^2 = 7\,464,96 \text{ kg m}$$

$MX_{SA}$  = momento en el borde de la placa en sentido X.

$$MX_{SA} = 0,00695 q b^2 = 0,00695 * 5\,760 * 18^2 = 12\,970,368 \text{ kg m}$$

$MY_{SA}$  = momento en el borde de la placa en sentido Y.

$$MY_{SA} = 0,15 * 0,00695 q b^2 = 0,15 * 0,00695 * 5\,760 * 18^2 = 1\,945,5552 \text{ kg m}$$

*Diseño de las secciones:*

Se usara la teoría elástica para prever fisuras.

$$F_C = 0,45 * f' \quad (32)$$

$$F_s = 1\,400 \text{ kg/cm}^2, \quad F_Y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

- Momento negativo es paredes laterales,  $MY_{VS} = 22\,637,49 \text{ kg * m/m}$

$$A_s = \frac{22\,637,49 \text{ kg * m/m}}{0,26 \text{ m} * 7/8 * 1\,400 \text{ kg/cm}^2} = 73,92 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Momento negativo en el fondo del tanque,  $MX_{VS} = 4\,650,048 \text{ kg * m/m}$

$$A_s = \frac{4\,650,048 \text{ kg * m/m}}{0,25 \text{ m} * 7/8 * 1\,400 \text{ kg/cm}^2} = 15,18 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Momento en el centro de la placa,  $MY_S = 7\,464,96 \text{ kg * m/m}$

$$A_s = \frac{7\,464,96 \text{ kg * m/m}}{0,25 \text{ m} * 7/8 * 1\,400 \text{ kg/cm}^2} = 24,37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Momento en el centro de la placa,  $MX_S = 432,3456 \text{ kg} * \text{m}/\text{m}$

$$A_s = \frac{432,3456 \text{ kg} * \text{m}/\text{m}}{0,25 \text{ m} * 7/8 * 1400 \text{ kg}/\text{cm}^2} = 1,41 \text{ cm}^2/\text{m}$$

#### *Losa de Fondo*

Espesor de la losa = 25 cm

Peso propio =  $18 \text{ m} * 0,25 \text{ m} * 2,4 \text{ t}/\text{m}^3 = 10,8 \text{ t}/\text{m}$

Peso del agua =  $4500 \text{ t}/18 \text{ m} = 250 \text{ t}/\text{m}$

$CV = 250 \text{ t}/18\text{m} + (0,035 \text{ t}/\text{m}^2 * 18 \text{ m}) = 250,63 \text{ t}/\text{m}$

$$U = 1,4 \text{ CM} + 1,7 \text{ CV}$$

$$U = 1,4(10,8) + 1,7 (250,63) = 441,91 \text{ t}/\text{m}$$

$$q = \frac{U}{2} = 220,95 \text{ t}/\text{m}$$

### **3.4 Diseño hidráulico**

**3.4.1 Riego parcelario.** Hoy en día la utilización del agua en la región andina, ha revolucionado la cultura del uso en el que se destaca la maximización del beneficio del recurso por unidad de superficie con el mayor rendimiento económico y social. En este sentido la presente estrategia se levanta sobre el concepto de la tecnificación del riego parcelario, donde no prima al volumen de agua disponible por familia, sino la necesidad del cultivo. Los aspectos técnicos que se consideran como criterio para la implementación de las parcelas demostrativas son: el tipo de cultivo, extensión de la parcela, topografía y capacidad de inversión de la familia.

Para las comunidades beneficiadas se ha optado que la mejor alternativa es implementar sistemas semifijos con ramales fijos en donde se dota de un hidrante por cada ½ hectárea como se indica en el plano “diseño de redes” de manera que cada usuario tendrá la facilidad de colocar los accesorios necesarios al hidrante y podrán gozar del riego por aspersión con su ramal móvil. Con estas especificaciones, el caudal asignado para cada parcela se muestra en el Anexo B. Y teniendo una sumatoria total de 259,38 l/s. Estos caudales nos sirven para la determinación de los diámetros de tubería para cada una de las parcelas.

**3.4.2 Factores determinantes en el diseño.** Existen muchos factores que se tomaron en consideración para planificar el adecuado sistema de riego y determinar las necesidades de agua para cada uno de sus cultivos y para cada una de las parcelas, entre los factores principales que se consideraron fueron los siguientes: características físicas del suelo, topografía de la zona del proyecto, fuentes de provisión de agua (Río Matus), sistemas de administración parcelaria de agua, padrón de cultivo y factores ambientales.

Es importante antes de planificar un sistema de riego parcelario, se realicen algunas preguntas fundamentales para la elaboración este tipo de proyectos y estas son: ¿Por qué regar? ¿Cuándo regar? ¿Cómo regar?.

Las respuestas correctas a estas interrogantes permitirá hacer uso racional y eficiente del agua y evitar riego en exceso o deficiencia, condiciones que repercutirán sobre el uso del suelo y en el rendimiento de los cultivos.

Los sistemas tradicionales de riego, si bien han sido un aporte valioso en un determinado momento para el mantenimiento de los cultivos, también han causado erosión, pérdida de suelo fértil y se han utilizado grandes volúmenes de agua.

**3.4.3 Análisis de la tubería de conducción de la toma al tanque.** El primer tramo es el de la toma de agua Matus-Penipe hacia el tanque de almacenamiento principal los cuales se encuentran en las siguientes cotas:

- Altura de la toma del río Matus = 2 813,84 msnm
- Altura del almacenamiento principal = 2 653,12 msnm

El sistema de conducción de agua se realizara por gravedad ya que contamos con una diferencia de alturas de 160,72 m la cual nos brinda suficiente presión para lograr el llenado del tanque de almacenamiento y con una longitud de 4 852,183 m desde la bocatoma hasta el tanque de almacenamiento. Para el presente proyecto seleccionamos la tubería de Novariego de Plastigama para uso agrícola porque trabaja con bajas presiones, y en este caso conducción por gravedad, con periodos de vida útil prolongada, no se producen corrosión, ni la formación de depósitos ni incrustaciones en las paredes interiores conservando inalterable su sección hidráulica.

Al caudal disponible es de 51,4 l/s, la tubería seleccionada será.

Tabla 10. Especificaciones de tubería Novariego según el caudal.

D. Nominal (mm)		280		335	
Caudal		Pc	V	Pc	V
lps	gpm				
30	476	0,13	0,61		
35	555	0,17	0,71		
40	634	0,22	0,81		
45	713	0,27	0,92		
50	793	0,33	1,02		
55	872	0,39	1,12	0,13	0,71
60	951	0,46	1,22	0,15	0,77
65	1.030	0,54	1,32	0,17	0,83
70	1.110	0,62	1,43	0,20	0,90

Fuente: (PLASTIGAMA, 2015)

Según el caudal disponible tenemos una tubería entre 280 y 350 mm, otro parámetro indispensable para la selección que hay que tener en cuenta una velocidad mayor a 1 m/s para que no exista sedimentación. El diámetro que nos brinda esta condición es la de 280 mm con una velocidad de 1,12 m/s y una presión de carga de 0,39 m de columna de agua por cada 100 m de tubería.

Y ahora las características de la tubería Novariego de diámetro de 280 mm:

Tabla 11. Especificaciones para tuberías Novariego

DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO INTERNO	PRESIÓN DE TRABAJO		
		PSI	MPa	Kgf/cm <sup>2</sup>
280	250	30	0,20	2,04
335	315	30	0,20	2,04
400	362	30	0,20	2,04
440	400	30	0,20	2,04

Fuente: (PLASTIGAMA, 2015)

Para la tubería de 280 m tenemos unión especial de gran hermeticidad, para una longitud aproximada de 4 312,071 m; debido a esta unión no existen pérdidas secundarias. Determinamos la pérdida por cada metro de tubería:

$$P_c = \frac{P_c}{100} \quad (33)$$

$$P_c = \frac{0,39}{100}$$

$$P_c = 0,0039 \text{ por metro}$$



$$P_r = P_c * L_t \quad (34)$$

$$P_r = 0,0039 * 4\,312,071$$

$$P_r = 16,81 \text{ psi}$$

Con el catálogo de Plastigama para accesorios en tubería se determinan sus coeficientes de pérdida, en la tubería de conducción principal que viene desde la bocatoma hasta el tanque de almacenamiento, tenemos los siguientes elementos:

Tabla 12. Accesorios de tubería de conducción principal (Primer tramo)

Elementos	Diámetro [mm]	Pérdida unitaria [m]	Cantidad	Pérdida total [m]
Tubería Novariego longitud 6 m	280		461	
Codo L/R P E/C *45°	280	1,4	8	11,2
Codo L/R P E/C *22.5°	280		18	
Codo L/R P E/C *11.25°	280		56	
<b>Total</b>				<b>11,2</b>

Fuente: Autores.

$$L_T = L + L_a \quad (35)$$

$$L_T = 4\,312,071 \text{ m} + 11,2 \text{ m}$$

$$L_T = 4\,323,271 \text{ m}$$

Se determina las pérdidas debido a la longitud de tubería:

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

$$V = \frac{4 * 0,0514 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 0,200^2}$$

$$V = 1,636 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h = 10,674 * \left[ \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,871}} \right] * L \quad (36)$$

Donde:

Q = caudal a transportar [m<sup>3</sup>/s]

D = diámetro interior de la tubería [m]

C = coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams

Tabla 13. Coeficientes de rugosidad de Hanzen-Williams

Material	C	Material	C
PVC	150	Hormigón vibrado	130
Acero	140	Plástico corrugado	125
Asbesto cemento	135	Polietileno	120

Fuente Autores.

$$h = 10,674 * \left[ \frac{0,0514^{1,852}}{150^{1,852} * 0,200^{4,871}} \right] * 4\,323,271\,m$$

$$h = 44,8\,mca$$

Para el segundo tramo, que es el complemento de la tubería de la conducción principal tenemos una distancia de 540,112 m; en esta, cambiaremos a tubería PVC, ya que tenemos una caída más brusca debido a una gran pendiente ya que conllevará a un incremento de la presión.

Entonces, los accesorios necesarios para este, será:

Tabla 14. Accesorios de tubería de conducción principal (Segundo tramo)

Elementos	Diámetro [mm]	Pérdida unitaria [m]	Cantidad	Pérdida total [m]
Tubería PVC longitud 6 m	200		248	
Codo L/R P E/C *45°	200	1,4	2	2,8
Codo L/R P E/C *22.5°	200		3	
Codo L/R P E/C *11.25°	200		10	
<b>Total</b>				<b>2,8</b>

Fuente: Autores.

$$L_T = 540,112\,m + 2,8\,m$$

$$L_T = 542,912\,m$$

Se determina las pérdidas debido a la longitud de tubería:

Mediante la ecuación (26), determinamos la velocidad del agua e la tubería de la conducción principal (Segundo tramo).

$$V = \frac{4 * 0,0514 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 0,200^2}$$

$$V = 1,636 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h = 10,674 * \left[ \frac{0,0514^{1,852}}{150^{1,852} * 0,200^{4,871}} \right] * 542,912 \text{ m}$$

$$h = 5,63 \text{ mca}$$

**3.4.4** *Redes de tuberías.* La red de tuberías que conducen el agua por la superficie a regar se compone de ramales de alimentación que conducen el agua principal para suministrar a los ramales secundarios o laterales y a sus distribuciones, que conectan directamente con los aspersores.

Todo esto supone un estudio técnico adecuado ya que de él dependerá el éxito de la instalación. Para realizar el cálculo del diámetro de tubería utilizaremos las ecuaciones correspondientes a Hansen Williams.

$$Q = 0,2785 * C * D^{2,63} * J^{0,54}$$

Donde:

Q = caudal o flujo volumétrico [m<sup>3</sup>/s]

C = coeficiente que depende de la rugosidad del tubo

D = diámetro de la tubería [m]

J = pérdida de carga por unidad de longitud del conducto

$$h_f = J * L_e \quad (37)$$

Donde:

$h_f$  = pérdida de carga [m]

$L_e$  = longitud equivalente [m]

J = pérdida de carga

Cuando se usan tuberías de diámetro normalizado se toma la de diámetro superior al resultado obtenido, para mayor seguridad. Para nuestro diseño de las tuberías tenemos un caudal máximo diario de 125,941 l/s por cada distribución para cubrir unas 30 parcelas aproximadamente por día.

A continuación en la tabla 15, se presenta las caudales calculados para cada uno de los grupos con los que se va a trabajar en el diseño.

Se ha diseñado 7 grupos para tener una facilidad de riego mediante turnos. Con una temperatura de agua de 16°C, la viscosidad cinemática a esta temperatura es de  $1,11 \cdot 10^{-6}$  Interpolada.

Tabla 15. Caudales para cada grupo

<b>Grupo</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
A	27,342
B	52,836
C	29,149
D	53,228
E	53,958
F	24,861
G	14,341

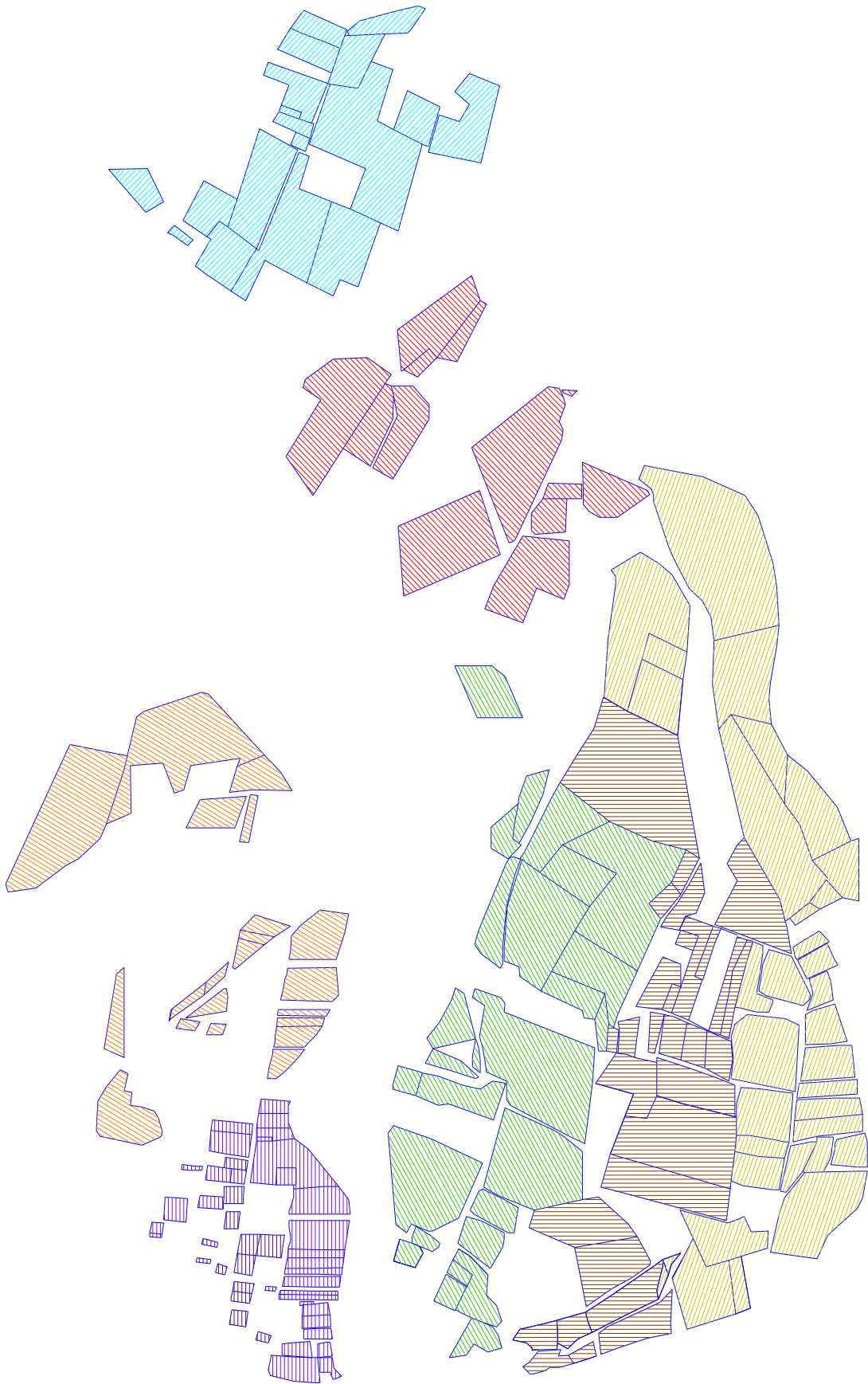
Fuente: Autores.

Tabla 16. Designación de grupos por colores

<b>Grupo</b>	<b>Designación por color</b>
A	Celeste
B	Rojo
C	Amarillo
D	Café
E	Verde
F	Naranja
G	Morado

Fuente: Autores.

Figura 19. Agrupación de parcelas



Fuente. Autores.

Por la teoría de flujo laminar (pérdidas de carga por fricción) que fue desarrollada independientemente por Hagen y Poiseville para el cálculo de las ecuaciones, considerando una sección de tubo horizontal. Llegando así a obtener una ecuación que representa la pérdida de energía más crítica, esto aplicaremos en la siguiente tabla para el cálculo de los respectivos diámetros pre dimensionados de las tuberías.

Tabla 17. Parámetros indispensables de las tuberías del sistema

Grupo	Cota mayor [msnm]	Cota menor [msnm]	Hf [m]	Longitud [m]	Caudal [l/s]
A	2 711	2 662	49	845	27,342
B	2 756	2 683	73	558	52,836
C	2 659	2 571	88	825	29,149
D	2 639	2 576	63	1073	53,228
E	2 661	2 587	74	1142	53,958
F	2 659	2 478	181	385	24,861
G	2 580	2 527	53	173	14,341

Fuente: Autores.

**3.4.4.1** *Cálculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo A.* Mediante las ecuaciones (23) y (37), tenemos:

$$J = \frac{49}{845} = 0,05798$$

$$D = \left( \frac{0,031357}{0,2785 * 150 * 0,05798^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}}$$

$$D = 0,115 \text{ m}$$

$$D = 11,5 \text{ cm}$$

Ahora en el catálogo de Plastigama de tuberías PVC buscamos un diámetro interior al próximo superior por seguridad, dicho esto el diámetro comercial de tubería será de 140 mm, con un diámetro interior de 129,2 mm, un espesor de 5,4 mm y una presión de trabajo de 145 Psi. La pérdida de energía se representa en las tuberías y pueden ser de dos clases:

*Perdidas secundarias*, que se producen por los accesorios en la tubería como las debidas a codos, bifurcaciones, juntas de unión, válvulas, etc.

*Perdidas primarias*, a lo largo del conducto por el cual va el líquido (rozamiento del líquido a través de la longitud de las paredes del tubo).

Ayudados por catálogo de Plastigama para accesorios en tuberías se determina sus coeficientes de pérdida de longitud de tubería de PVC, en la tubería de conducción del Grupo A tenemos los siguientes elementos:

Tabla 18. Accesorios en la tubería de conducción Grupo A

Elementos	Diámetro	Pérdida unitaria [m]	Cantidad	Pérdida total [m]
Tubería PVC longitud 6 m	140 mm		141	
Codo E/C * 90°	140 mm	5,4	1	5,4
Codo L/R P E/C * 11.25°	140 mm		1	
Collar derivación	140 mm * 1''		12	
Collar derivación	140 mm * 2''		6	
Collar derivación (con refuerzo)	140 mm * 2''		1	
Válvula de bola con universal roscable	1''	15	12	180
Válvula de bola con universal roscable	2''	37,9	6	227,4
Válvula de aire	2''		1	
Válvula de mariposa "Gatillo" con brida soldable E/C	140 mm		1	
Tapón hembra E/C	140 mm		1	
Válvula check	1''	3,8	3	11,4
Tubería de polietileno	32 mm	15,19	4	60,76
Tubería de polietileno	63 mm	13,83	3	41,49
Adaptador ASTM-ISO E/C	1'' a 32 mm		12	
Adaptador ASTM-ISO E/C	2'' a 63 mm		6	
<b>Total</b>				<b>526,45</b>

Fuente: Autores.

Mediante las ecuaciones (35) y (36), determinamos las pérdidas longitud.

$$L_T = 845 \text{ m} + 526,45 \text{ m}$$

$$L_T = 1371 \text{ m}$$

$$h = 10,674 * \left[ \frac{0,031357^{1,852}}{150^{1,852} * 0,140^{4,871}} \right] * 1371,45$$

$$h = 32,34 \text{ mca}$$

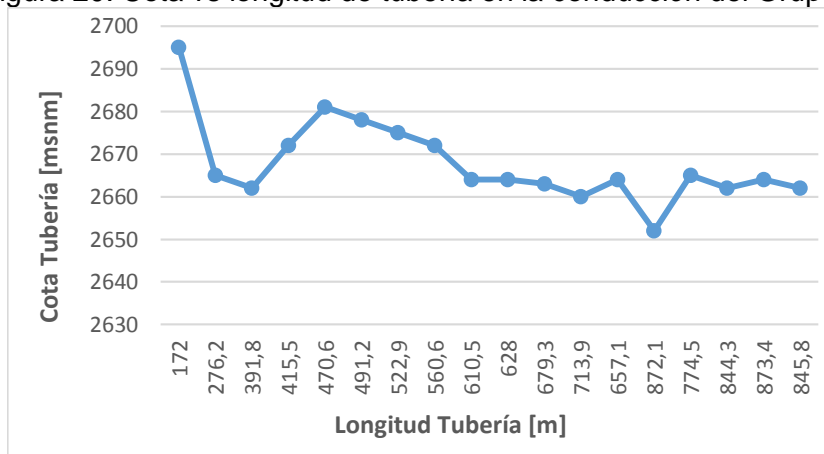
Se determina que mediante la fórmula (23) de Hazen – Williams es la manera más rápida y confiable para determinar las pérdidas en la tubería de conducción del Grupo A.

Tabla 19. Análisis de tubería de conducción del Grupo A.

Long. lat. [m]	Long. terc. [m]	LT [m]	Caudal [m³/s]	J [M/m]	Hf [mca]	Vel. [m/s]	Cota tub. [msnm]	Cota piezom. [msnm]	Cota proyecto [msnm]	Presión	
										Estática [mca]	Dinámica [mca]
159,5	12,5	172	0,0314	0,023	3,986	2,04	2695	2 691,014	2 692,5	0	-13,01
252,8	23,4	276,2			6,401		2665	2 658,599	2 662,5	30	16,40
362,9	28,9	391,8			9,080		2662	2 652,920	2 659,5	33	28,08
404,3	11,2	415,5			9,629		2672	2 662,371	2 669,5	23	9,63
417,9	52,7	470,6			10,906		2681	2 670,094	2 678,5	14	1,91
459,4	31,8	491,2			11,384		2678	2 666,616	2 675,5	17	-2,62
489,9	33	522,9			12,119		2675	2 662,881	2 672,5	20	1,12
551,5	9,1	560,6			12,992		2672	2 659,008	2 669,5	23	3,99
604,5	6	610,5			14,149		2664	2 649,851	2 661,5	31	12,15
617,9	10,1	628			14,554		2664	2 649,446	2 661,5	31	15,55
630,4	48,9	679,3			15,743		2663	2 647,257	2 660,5	32	47,74
645,4	68,5	713,9			16,545		2660	2 643,455	2 657,5	35	20,55
653,6	3,5	657,1			15,229		2664	2 648,771	2 661,5	31	16,23
704,5	167,6	872,1			20,211		2652	2 631,789	2 649,5	43	28,21
764	10,5	774,5			17,950		2665	2 647,050	2 662,5	30	14,95
811,3	33	844,3			19,567		2662	2 642,433	2 659,5	33	9,57
814,9	58,5	873,4			20,242		2664	2 643,758	2 661,5	31	40,24
844,9	0,9	845,8			19,602		2662	2 642,398	2 659,5	33	19,60

Fuente: Autores.

Figura 20. Cota vs longitud de tubería en la conducción del Grupo A



Fuente: Autores.



**3.4.4.2** *Calculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo B.* De igual forma, utilizando las ecuaciones (23) y (37), tenemos:

$$J = \frac{73}{558} = 0,1308$$

$$D = \left( \frac{0,029149}{0,2785 * 150 * 0,1308^{0.54}} \right)^{\frac{1}{2.63}}$$

$$D = 0,095 \text{ m}$$

Por seguridad, el diámetro comercial de tubería será de 140 mm, con un diámetro interior de 126,6 mm, un espesor de 6,7 mm y una presión de trabajo de 181 Psi.

Tabla 20. Accesorios en la tubería de conducción del Grupo B.

Elementos	Diámetro	Pérdida unitaria [m]	Cantidad	Pérdida total [m]
Tubería PVC longitud 6 m	140 mm		93	
Codo E/C * 90°	140 mm	5,4	1	5,4
Collar derivación (con refuerzo)	140 mm * 1''		8	
Collar derivación (con refuerzo)	140 mm * 2''		6	
Válvula de bola con universal roscable	1''	15	8	120
Válvula de bola con universal roscable	2''	37,9	5	189,5
Válvula de aire	2''		1	
Válvula de mariposa "Gatillo" con brida soldable E/C	140 mm		1	
Tapón hembra E/C	140 mm		1	
Válvula check	1''	3,8	3	11,4
Válvula check	2''	6,8	2	13,6
Tubería de polietileno	32 mm	15,19	14	212,66
Tubería de polietileno	63 mm	13,83	5	69,15
Adaptador ASTM-ISO E/C	1'' a 32 mm		8	
Adaptador ASTM-ISO E/C	2'' a 63 mm		6	
<b>Total</b>				<b>621,71</b>

Fuente: Autores.

Mediante la ecuación (35), determinamos la longitud total de tubería para el grupo B.

$$L_T = 558 \text{ m} + 621,71 \text{ m} = 1179,71 \text{ m}$$

$$h = 10,674 * \left[ \frac{0,029149^{1,852}}{150^{1,852} * 0,160^{4,871}} \right] * 1179,71 m$$

$$h = 12,68 mca$$

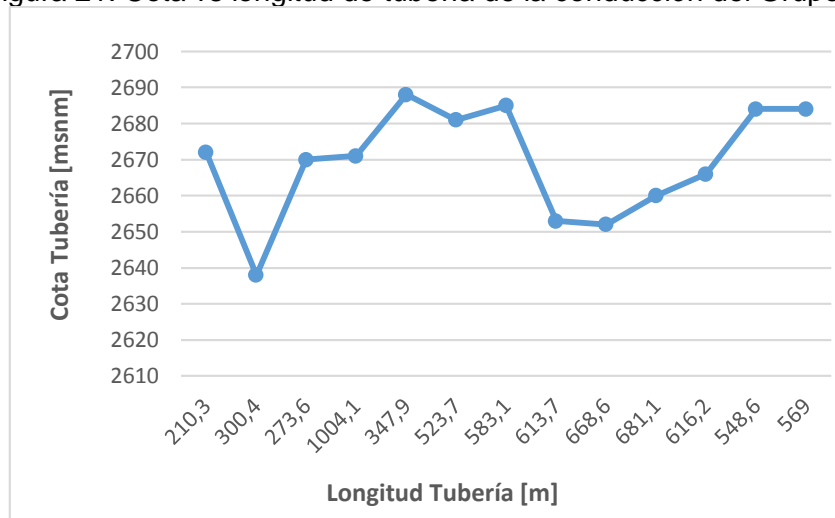
Se determina que mediante la fórmula (23) de Hanzen – Williams es la manera más rápida y confiable para determinar perdidas en las tuberías.

Tabla 21. Análisis de tubería de conducción del Grupo B

Long. lat. [m]	Long. terc. [m]	LT [m]	Caudal [m³/s]	J [M/m]	Hf [mca]	Vel. [m/s]	Cota tube. [msnm]	Cota piezo. [msnm]	Cota proyecto [msnm]	Presión	
										Estática [mca]	Dinámica [mca]
183,8	26,5	210,3	0,0291	0,0202	4,258	1,89	2672	2667,742	2669,5	0	-3,74
211,1	89,3	300,4		0,0202	6,082		2638	2631,918	2635,5	34	28,08
245,2	28,4	273,6		0,0202	5,540		2670	2664,460	2667,5	2	-11,46
249,8	754,3	1004,1		0,0202	20,330		2671	2650,670	2668,5	1	1,33
268,5	79,4	347,9		0,0202	7,044		2688	2680,956	2685,5	-16	-14,96
438,1	85,6	523,7		0,0202	10,603		2681	2670,397	2678,5	-9	13,60
461,5	121,6	583,1		0,0202	11,806		2685	2673,194	2682,5	-13	11,81
472,5	141,2	613,7		0,0202	12,426		2653	2640,574	2650,5	19	40,43
497,6	171	668,6		0,0202	13,537		2652	2638,463	2649,5	20	49,54
513,4	167,7	681,1		0,0202	13,790		2660	2646,210	2657,5	12	24,79
520	96,2	616,2		0,0202	12,476		2666	2653,524	2663,5	6	16,48
547,5	1,1	548,6		0,0202	11,108		2684	2672,892	2681,5	-12	-0,89
558,2	10,8	569		0,0202	11,521		2684	2672,479	2681,5	-12	-34,48

Fuente: Autores

Figura 21. Cota vs longitud de tubería de la conducción del Grupo B.



Fuente: Autores.

**3.4.4.3 Cálculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo C.** De igual manera para el cálculo de la pérdida de carga y diámetro de tubería, mediante las ecuaciones (23) y (37), tenemos:

$$J = \frac{74}{1142} = 0,06479$$

$$D = \left( \frac{0,062695}{0,2785 * 150 * 0,06479^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}}$$

$$D = 0,1467 \text{ m}$$

Por seguridad, el diámetro comercial de tubería será de 160 mm, con un diámetro interior de 144,8 mm, un espesor de 7,6 mm y una presión de trabajo de 181 Psi.

Tabla 22. Accesorios en la tubería de conducción del Grupo C

Elementos	Diámetro	Pérdida unitaria [m]	Cantidad	Pérdida total [m]
Tubería PVC longitud 6 m	160 mm		191	
Codo E/C * 90°	160 mm	5,4	2	10,8
Codo L/RP E/C * 22.5°	160 mm		2	
Codo L/RP E/C * 45°	160 mm	1,2	2	2,4
Tee E/C	160 mm	3,6	1	3,6
Collar derivación (con refuerzo)	160 mm * 1''		19	
Collar derivación (con refuerzo)	160 mm * 2''		15	
Collar derivación (con refuerzo)	160 mm * 2''		1	
Válvula de bola con universal roscable	1''	15	19	285
Válvula de bola con universal roscable	2''	37,9	15	568,5
Válvula de aire	2''		1	
Válvula de mariposa "Gatillo" con brida soldable E/C	160 mm		1	
Tapón hembra E/C	160 mm		1	
Tubería de polietileno	32 mm	15,19	5	75,95
Tubería de polietileno	63 mm	13,83	5	69,15
Adaptador ASTM-ISO E/C	1'' a 32 mm		19	
Adaptador ASTM-ISO E/C	2'' a 63 mm		15	
Adaptador ASTM-ISO E/C	3'' a 90 mm		1	
<b>Total</b>				<b>1015,4</b>

Fuente: Autores.

Mediante la ecuación (35) y (36), determinamos la longitud total de tubería del Grupo C

$$L_T = 1142 \text{ m} + 1015,4 \text{ m} \quad L_T = 2157,4 \text{ m}$$

$$h = 10,674 * \left[ \frac{0,062695^{1,852}}{150^{1,852} * 0,160^{4,871}} \right] * 2157,4 \text{ m}$$

$$h = 95,79 \text{ mca}$$

Se determina que mediante la fórmula de Hazen – Williams es la manera más rápida y confiable para determinar las pérdidas en la tubería de conducción y cada uno de los ramales correspondientes al Grupo C. Así también como la determinación de la presión estática y dinámica, la cota piezométrica y la cota del proyecto.

Tabla 23. Análisis de tubería de conducción del Grupo C.

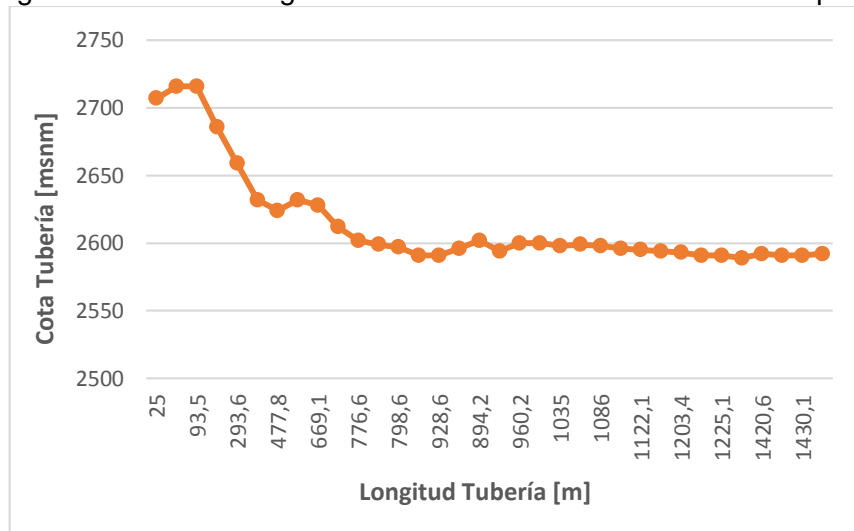
Long. lat. [m]	Long. terc. [m]	LT [m]	Caudal [m³/s]	J [M/m]	Hf [mca]	Vel. [m/s]	Cota tube. [msnm]	Cota piezo. [msnm]	Cota proyecto [msnm]	Presión	
										Estática [mca]	Dinámica [mca]
18,3	6,7	25	0,0627	0,044	1,091	3,12	2 707	2 705,909	2 704,5	0	1,09
56,9	42,9	99,8		0,044	4,355		2 716	2 711,645	2 713,5	-9	-25,65
72,4	21,1	93,5		0,044	4,080		2 716	2 711,920	2 713,5	-9	-72,92
268,8	43	311,8		0,044	13,606		2 686	2 672,394	2 683,5	21	43,61
273,6	20	293,6		0,044	12,811		2 659	2 646,189	2 656,5	48	12,81
421,9	10,3	432,2		0,044	18,859		2 632	2 613,141	2 629,5	75	97,86
427,2	50,6	477,8		0,044	20,849		2 624	2 603,151	2 621,5	83	28,85
483,1	38,2	521,3		0,044	22,747		2 632	2 609,253	2 629,5	75	38,75
648,1	21	669,1		0,044	29,197		2 628	2 598,803	2 625,5	79	40,20
713,1	15,4	728,5		0,044	31,789		2 612	2 580,211	2 609,5	95	62,79
738,5	38,1	776,6		0,044	33,887		2 602	2 568,113	2 599,5	105	61,89
767,6	21,2	788,8		0,044	34,420		2 599	2 564,580	2 596,5	108	65,42
796	2,6	798,6		0,044	34,847		2 597	2 562,153	2 594,5	110	40,85
827,1	50,6	877,7		0,044	38,299		2 591	2 552,701	2 588,5	116	42,30
831,5	97,1	928,6		0,044	40,520		2 591	2 550,480	2 588,5	116	73,52
878,9	17,4	896,3		0,044	39,111		2 596	2 556,889	2 593,5	111	75,11
889,8	4,4	894,2		0,044	39,019		2 602	2 562,981	2 599,5	105	65,02
896,7	82,5	979,2		0,044	42,728		2 594	2 551,272	2 591,5	113	60,73
949,9	10,3	960,2		0,044	41,899		2 600	2 558,101	2 597,5	107	43,90
999,9	7,5	1007,4		0,044	43,959		2 600	2 556,041	2 597,5	107	74,96
1028,3	6,7	1035	0,044	45,163	2 598	2 552,837	2 595,5	109	84,16		

Tabla 23. (Continuación)

1054,8	7,1	1061,9	0,0627	0,044	46,337	3,12	2 599	2 552,663	2 596,5	108	163,34
1074	12	1086		0,044	47,388		2 598	2 550,612	2 595,5	109	50,39
1081,4	80,1	1161,5		0,044	50,683		2 596	2 545,317	2 593,5	111	51,68
1113,6	8,5	1122,1		0,044	48,964		2 595	2 546,036	2 592,5	112	68,96
1142,7	12,8	1155,5		0,044	50,421		2 594	2 543,579	2 591,5	113	69,42
1176,3	27,1	1203,4		0,044	52,511		2 593	2 540,489	2 590,5	114	52,51
1181,3	4,8	1186,1		0,044	51,756		2 591	2 539,244	2 588,5	116	53,76
1195,1	30	1225,1		0,044	53,458		2 591	2 537,542	2 588,5	116	56,46
1330,7	43	1373,7		0,044	59,942		2 589	2 529,058	2 586,5	118	62,94
1352,3	68,3	1420,6		0,044	61,989		2 592	2 530,011	2 589,5	115	60,99
1398,8	9,6	1408,4		0,044	61,456		2 591	2 529,544	2 588,5	116	61,46
1417,6	12,5	1430,1		0,044	62,403		2 591	2 528,597	2 588,5	116	62,40
1422,4	30,9	1453,3		0,044	63,416		2 592	2 528,584	2 589,5	115	70,42

Fuente: Autores.

Figura 22. Cota vs longitud de tubería en la conducción del Grupo C.



Fuente: Autores.

**3.4.4.4** *Cálculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo D.* De igual manera para el cálculo de las pérdidas de carga y diámetro de tubería de conducción del grupo D, mediante las ecuaciones (23) de Hansen-Williams y la ecuación (37) de Francis, tenemos:

$$J = \frac{63}{1073}$$

$$J = 0,0587139$$

$$D = \left( \frac{0,044492}{0,2785 * 150 * 0,0587139^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}}$$

$$D = 0,1314 \text{ m}$$

Por motivos de seguridad y para obtener una velocidad adecuada en el transporte del agua para la conducción del Grupo D, el diámetro comercial de tubería será de 160 mm de PVC, con un diámetro interior de 144,8 mm, un espesor de 7,6 mm y una presión de trabajo de 181 Psi.

Tabla 24. Accesorios en la tubería de conducción del Grupo D

Elementos	Diámetro	Pérdida unitaria [m]	Cantidad	Pérdida total [mm]
Tubería PVC longitud 6 m	160 mm		179	
Codo L/RP E/C * 11.25°	160 mm		4	
Collar derivación (con refuerzo)	160 mm * 1''		16	
Collar derivación (con refuerzo)	160 mm * 2''		15	
Válvula de bola con universal roscable	1''	15	16	240
Válvula de bola con universal roscable	2''	37,9	14	530,6
Válvula de aire	2''		1	
Válvula de mariposa "Gatillo" con brida soldable E/C	160 mm		1	
Tapón hembra E/C	160 mm		1	
Tubería de polietileno	32 mm	15,19	7	106,33
Tubería de polietileno	63 mm	13,83	6	82,98
Adaptador ASTM-ISO E/C	1'' a 32 mm		16	
Adaptador ASTM-ISO E/C	2'' a 63 mm		15	
<b>Total</b>				<b>959,91</b>

Fuente: Autores.

Mediante las ecuaciones (35) y (36), tenemos:

$$L_T = 1073 \text{ m} + 959,91 \text{ m}$$

$$L_T = 2032,91 \text{ m}$$

$$h = 10,674 * \left[ \frac{0,044492^{1,852}}{150^{1,852} * 0,160^{4,871}} \right] * 2032,91 \text{ m}$$

$$h = 47,83 \text{ mca}$$

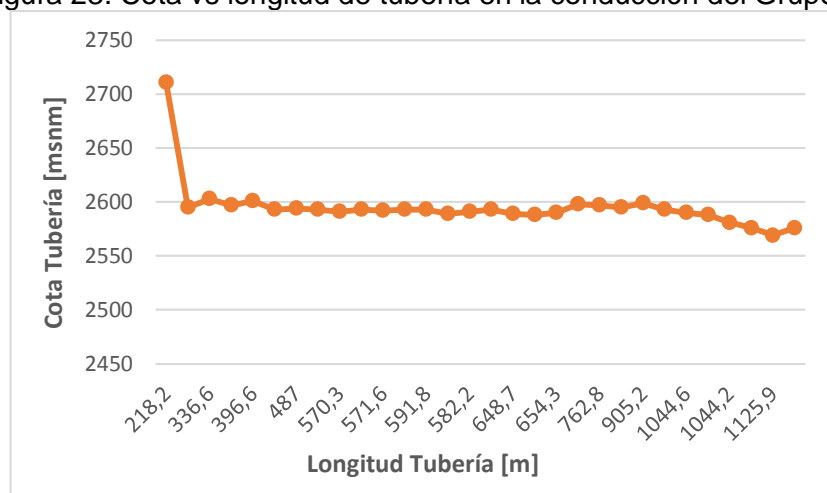
Se determina que mediante la fórmula (23) de Hazen – Williams es la manera más rápida, confiable y acertada para la determinación de las pérdidas en las tuberías.

Tabla 25. Análisis de tubería de conducción del Grupo D

Long. late. [m]	Long. terc. [m]	LT [m]	Caudal [m³/s]	J [M/m]	Hf [mca]	Vel. [m/s]	Cota tube. [msnm]	Cota piezo. [msnm]	Cota proyecto [msnm]	Presión	
										Estática [mca]	Dinámica [mca]
130,4	87,8	218,2	0,0445	0,0231	5,048	2,21	2711	2 705,952	2 708,5	0	-108,95
307,2	90,1	397,3		0,0231	9,192		2595	2 585,808	2 592,5	116	10,19
329,1	7,5	336,6		0,0231	7,788		2603	2 595,212	2 600,5	108	-2,21
345	27,4	372,4		0,0231	8,616		2597	2 588,384	2 594,5	114	4,62
363,5	33,1	396,6		0,0231	9,176		2601	2 591,824	2 598,5	110	4,18
424,3	17,3	441,6		0,0231	10,217		2593	2 582,783	2 590,5	118	5,22
435	52	487		0,0231	11,267		2594	2 582,733	2 591,5	117	10,27
443,9	4,9	448,8		0,0231	10,383		2593	2 582,617	2 590,5	118	10,38
480,9	89,4	570,3		0,0231	13,194		2591	2 577,806	2 588,5	120	13,19
492,9	12,3	505,2		0,0231	11,688		2593	2 581,312	2 590,5	118	7,69
496	75,6	571,6		0,0231	13,224		2592	2 578,776	2 589,5	119	10,22
521	8,8	529,8		0,0231	12,257		2593	2 580,743	2 590,5	118	13,26
550,6	41,2	591,8		0,0231	13,692		2593	2 579,308	2 590,5	118	22,69
573,5	21,6	595,1		0,0231	13,768		2589	2 575,232	2 586,5	122	24,77
576,3	5,9	582,2		0,0231	13,470		2591	2 577,530	2 588,5	120	22,47
585,2	65,5	650,7		0,0231	15,055		2593	2 577,945	2 590,5	118	20,05
591,5	57,2	648,7		0,0231	15,008		2589	2 573,992	2 586,5	122	25,01
608,9	87,7	696,6		0,0231	16,116		2588	2 571,884	2 585,5	123	21,12
641,4	12,9	654,3		0,0231	15,138		2590	2 574,862	2 587,5	121	15,14
730,6	22,7	753,3		0,0231	17,428		2598	2 580,572	2 595,5	113	17,43
744,1	18,7	762,8		0,0231	17,648		2597	2 579,352	2 594,5	114	13,65
795,7	16,9	812,6		0,0231	18,800		2595	2 576,200	2 592,5	116	25,80
856,9	48,3	905,2		0,0231	20,943		2599	2 578,057	2 596,5	112	-1,06
924,6	23	947,6		0,0231	21,924		2593	2 571,076	2 590,5	118	32,92
966,2	78,4	1044,6		0,0231	24,168		2590	2 565,832	2 587,5	121	31,17
1019,6	93,9	1113,5		0,0231	25,762		2588	2 562,238	2 585,5	123	39,76
1025,6	18,6	1044,2		0,0231	24,158		2581	2 556,842	2 578,5	130	40,16
1033,8	62,1	1095,9		0,0231	25,355		2576	2 550,645	2 573,5	135	40,35
1072	53,9	1125,9	0,0231	26,049	2569	2 542,951	2 566,5	142	48,05		
1073,1	2	1075,1	0,0231	24,873	2576	2 551,127	2 573,5	135	42,87		

Fuente: Autores.

Figura 23. Cota vs longitud de tubería en la conducción del Grupo D.



Fuente: Autores.

**3.4.4.5** *Calculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo E.* Mediante las ecuaciones (23) y (37), tenemos:

$$J = \frac{68}{986} = 0,06896$$

$$D = \left( \frac{0,050705}{0,2785 * 150 * 0,06896^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}}$$

$$D = 0,1336 \text{ m}$$

Por seguridad, el diámetro comercial de tubería será de 160 mm, con un diámetro interior de 144,8 mm, un espesor de 7,6 mm y una presión de trabajo de 181 Psi.

Tabla 26. Accesorios en la tubería de conducción del Grupo E

Elementos	Diámetro	Pérdida unitaria [m]	Cantidad	Pérdida total [m]
Tubería PVC longitud 6 m	160 mm		138	
Codo L/RP E/C * 45°	160 mm	1,2	2	2,4
Tee reductora E/C * 140	160 mm	3,6	1	3,6
Collar derivación (con refuerzo)	160 mm * 1''		20	
Collar derivación (con refuerzo)	160 mm * 2''		7	
Collar derivación (con refuerzo)	160 mm * 2''		1	
Válvula de bola con universal roscable	1''	15	20	300
Válvula de bola con universal roscable	2''	37,9	7	265,3



Tabla 26. (Continuación)

Válvula de aire	2''		1	
Válvula de mariposa "Gatillo" con brida soldable E/C	160 mm		1	
Tapón hembra E/C	160 mm		1	
Tubería de polietileno	32 mm	15,19	12	182,28
Tubería de polietileno	63 mm	13,83	4	55,32
Adaptador ASTM-ISO E/C	1'' a 32 mm		20	
Adaptador ASTM-ISO E/C	2'' a 63 mm		7	
<b>Total</b>				<b>808,9</b>

Fuente: Autores.

De igual forma, para el cálculo de las pérdidas totales y alturas piezométrica del grupo E, tenemos que mediante las ecuaciones (35) y (36):

$$L_T = 986 \text{ m} + 808.9 \text{ m}$$

$$L_T = 1794,9 \text{ m}$$

$$h = 10,674 * \left[ \frac{0,0507^{1,852}}{150^{1,852} * 0,160^{4,871}} \right] * 1794,9 \text{ m}$$

$$h = 53,78 \text{ mca}$$

Se determina que mediante la ecuación (23) de Hazen – Williams es la manera más rápida y confiable para determinar perdidas y la velocidad en la tubería de conducción del grupo E.

Tabla 27. Análisis de la tubería de conducción del Grupo E.

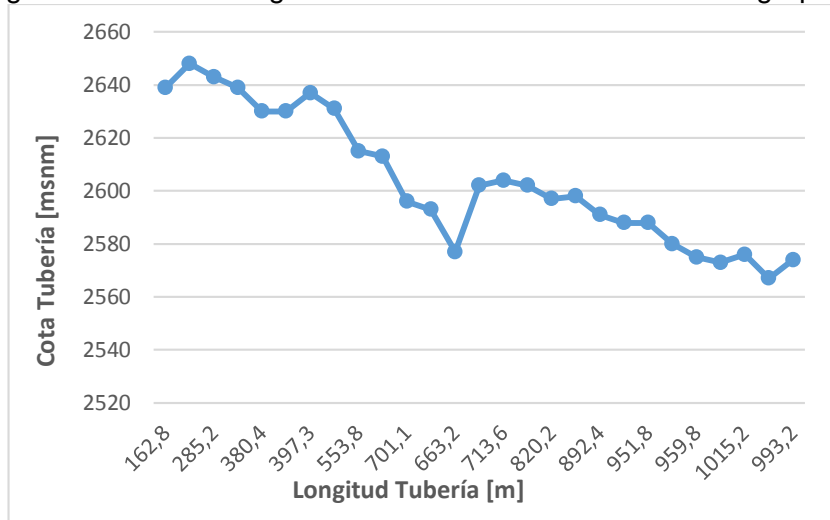
Long. lat. [m]	Long. terc. [m]	LT [m]	Caudal [m³/s]	J [M/m]	Hf [mca]	Vel. [m/s]	Cota tubería [msnm]	Cota piezo. [msnm]	Cota proyecto [msnm]	Presión	
										Estática	Dinámica
102,2	60,6	162,8	0,0507	0,0295	4,797	2,52	2 639	2 633,887	2 636,5	0	-39,20
225,9	19,1	245		0,0295	7,219		2 648	2 640,781	2 645,5	-9	-42,78
236,9	48,3	285,2		0,0295	8,404		2 643	2 634,596	2 640,5	-4	-38,60
281,6	19,5	301,1		0,0295	8,872		2 639	2 630,128	2 636,5	0	-41,13
300,1	80,3	380,4		0,0295	11,209		2 630	2 618,791	2 627,5	9	-23,79
307,1	68,9	376		0,0295	11,079		2 630	2 618,921	2 627,5	9	-20,92
382,1	15,2	397,3		0,0295	11,707		2 637	2 625,293	2 634,5	2	-34,29
408,3	4,8	413,1		0,0295	12,172		2 631	2 618,828	2 628,5	8	-30,83

Tabla 27. (Continuación)

455,9	97,9	553,8	0,0507	0,0295	16,318	2,52	2 615	2 598,682	2 612,5	24	-10,68
503,6	75,9	579,5		0,0295	17,075		2 613	2 595,925	2 610,5	26	-15,92
543,4	157,7	701,1		0,0295	20,658		2 596	2 575,342	2 593,5	43	0,66
565,2	28,6	593,8		0,0295	17,497		2 593	2 575,503	2 590,5	46	-1,50
634,8	28,4	663,2		0,0295	19,542		2 577	2 557,458	2 574,5	62	15,54
644,8	83,9	728,7		0,0295	21,472		2 602	2 580,528	2 599,5	37	-5,53
682,8	30,8	713,6		0,0295	21,027		2 604	2 582,973	2 601,5	35	-15,97
692,1	7,3	699,4		0,0295	20,608		2 602	2 581,392	2 599,5	37	17,61
708,1	112,1	820,2		0,0295	24,168		2 597	2 572,832	2 594,5	42	20,17
734,6	41,5	776,1		0,0295	22,868		2 598	2 575,132	2 595,5	41	0,87
777,5	114,9	892,4		0,0295	26,295		2 591	2 564,705	2 588,5	48	16,30
836,8	69,7	906,5		0,0295	26,711		2 588	2 561,289	2 585,5	51	7,71
886,7	65,1	951,8		0,0295	28,046		2 588	2 559,954	2 585,5	51	16,05
928,7	60,7	989,4		0,0295	29,153		2 580	2 550,847	2 577,5	59	39,15
949,3	10,5	959,8		0,0295	28,281		2 575	2 546,719	2 572,5	64	41,28
960,6	15,3	975,9		0,0295	28,756		2 573	2 544,244	2 570,5	66	47,76
964,5	50,7	1015,2		0,0295	29,914		2 576	2 546,086	2 573,5	63	44,91
982,8	103,9	1086,7		0,0295	32,020		2 567	2 534,980	2 564,5	72	56,02
985,9	7,3	993,2	0,0295	29,265	2 574	2 544,735	2 571,5	65	47,27		

Fuente: Autores.

Figura 24. Cota vs longitud de tubería en la conducción del grupo E.



Fuente: Autores.

**3.4.4.6** *Calculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo F.* De igual forma para el cálculo de las pérdidas de carga y diámetro de tubería del grupo F. Mediante las ecuaciones (23) y (37), tenemos:

$$J = \frac{181}{385} = 0,47012$$

$$D = \left( \frac{0,024861}{0,2785 * 150 * 0,47012^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}}$$

$$D = 0,0687 \text{ m}$$

Por seguridad para la conducción del Grupo F, el diámetro comercial de tubería será de 110 mm, con un diámetro interior de 99,6 mm, un espesor de 5,2 mm y una presión de trabajo de 181 Psi.

Tabla 28. Accesorios en la tubería de conducción del Grupo F.

Elementos	Diámetro	Pérdida unitaria [m]	Cantidad	Pérdida total [m]
Tubería PVC longitud 6 m	110 mm		251	
Cruz E/C	110 mm		1	
Codo L/RP E/C * 22.5°	110 mm		1	
Codo L/RP E/C * 45°	110 mm	1,2	3	3,6
Tee reductora E/C * 140	110 mm	3,6	1	3,6
Collar derivación (con refuerzo)	110 mm * 1''		19	
Collar derivación (con refuerzo)	110 mm * 2''		14	
Collar derivación (con refuerzo)	110 mm * 2''		1	
Válvula de bola con universal roscable	1''	15	19	285
Válvula de bola con universal roscable	2''	37,9	14	530,6
Válvula de aire	2''		1	
Válvula de mariposa "Gatillo" con brida soldable E/C	110 mm		1	
Tapón hembra E/C	110 mm		1	
Tubería de polietileno	32 mm	15,19	5	75,95
Tubería de polietileno	63 mm	13,83	5	69,15
Adaptador ASTM-ISO E/C	1'' a 32 mm		19	
Adaptador ASTM-ISO E/C	2'' a 63 mm		14	
<b>Total</b>				<b>967,9</b>

Fuente: Autores.

De igual forma, para el cálculo de las pérdidas totales y alturas Piezométrica del grupo F, tenemos que mediante las ecuaciones (35) y (36):

$$L_T = 384 \text{ m} + 967.9 \text{ m}$$

$$L_T = 1351.9 \text{ m}$$

$$h = 10,674 * \left[ \frac{0.024861^{1,852}}{150^{1,852} * 0,110^{4,871}} \right] * 1351.9 \text{ m}$$

$$h = 68.14 \text{ mca}$$

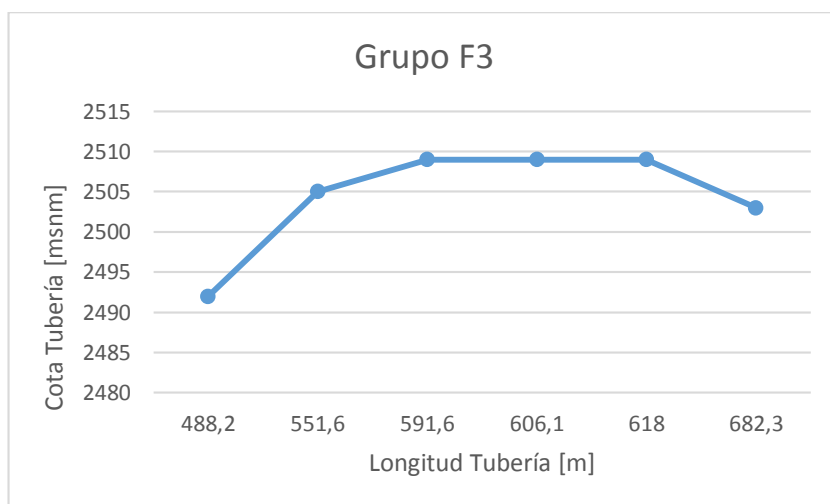
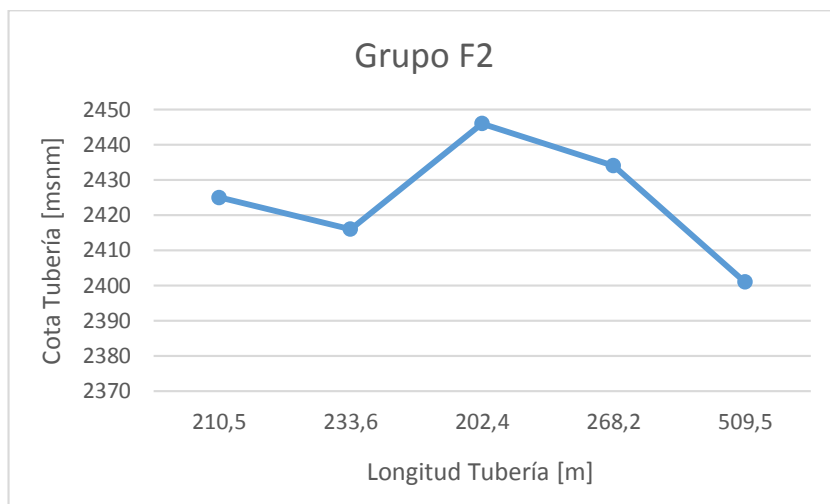
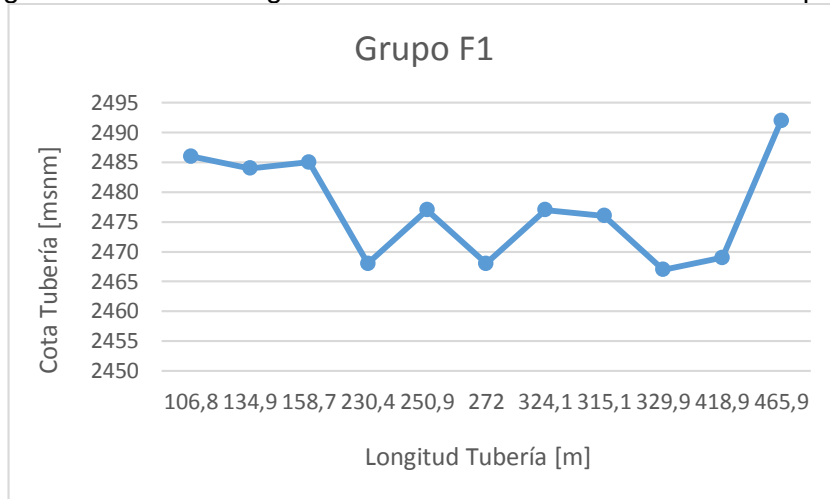
Se determina que mediante la fórmula de Hazen – Williams es la manera más rápida y confiable para determinar perdidas en las tuberías.

Tabla 29. Análisis de tubería de conducción del Grupo F.

Long. lat. [m]	Long. terc. [m]	LT [m]	Caudal [m³/s]	J [M/m]	Hf [mca]	Vel. [m/s]	Cota tubería [msnm]	Cota piezo. [msnm]	Cota proyecto [msnm]	Presión	
										Estática [mca]	Dinámica [mca]
95,4	11,4	106,8	0,0249	0,0487	5,201	2,62	2486	2480,799	2483,5	0	19,20
127,9	7	134,9		0,0487	6,570		2484	2477,430	2481,5	2	109,57
151,2	7,5	158,7		0,0487	7,729		2485	2477,271	2482,5	1	12,73
219,9	10,5	230,4		0,0487	11,221		2468	2456,779	2465,5	18	44,22
239,6	11,3	250,9		0,0487	12,219		2477	2464,781	2474,5	9	43,22
259,1	12,9	272		0,0487	13,247		2468	2454,753	2465,5	18	54,25
281,7	42,4	324,1		0,0487	15,784		2477	2461,216	2474,5	9	47,78
304,3	10,8	315,1		0,0487	15,345		2476	2460,655	2473,5	10	38,35
308,6	21,3	329,9		0,0487	16,066		2467	2450,934	2464,5	19	67,07
344,6	74,3	418,9		0,0487	20,401		2469	2448,599	2466,5	17	69,40
347,6	118,3	465,9		0,0487	22,690		2492	2469,310	2489,5	-6	48,69
149,2	61,3	210,5		0,0487	10,251		2425	2414,749	2422,5	61	103,25
152,9	80,7	233,6		0,0487	11,376		2416	2404,624	2413,5	70	113,38
191,4	11	202,4		0,0487	9,857		2446	2436,143	2443,5	40	81,86
248,7	19,5	268,2		0,0487	13,061		2434	2420,939	2431,5	52	100,06
503,7	5,8	509,5		0,0487	24,813		2401	2376,187	2398,5	85	146,81
470,8	17,4	488,2		0,0487	23,776		2492	2468,224	2489,5	-6	49,78
550,3	1,3	551,6		0,0487	26,863		2505	2478,137	2502,5	-19	10,86
590	1,6	591,6		0,0487	28,811		2509	2480,189	2506,5	-23	1,81
604,1	2	606,1		0,0487	29,517		2509	2479,483	2506,5	-23	22,52
616,2	1,8	618	0,0487	30,097	2509	2478,903	2506,5	-23	21,10		
662,2	20,1	682,3	0,0487	33,228	2503	2469,772	2500,5	-17	32,23		

Fuente: Autores.

Figura 25. Cota vs longitud de tubería en la conducción del Grupo F.



Fuente:

**3.4.4.7** *Cálculo del diámetro de la tubería de conducción del Grupo G.* De igual forma para el cálculo de las pérdidas de carga y diámetro de tubería del grupo G. Mediante las ecuaciones (23) y (37), tenemos:

$$J = \frac{53}{173} = 0,3063$$

$$D = \left( \frac{0,014341}{0,2785 * 150 * 0,3063^{0.54}} \right)^{\frac{1}{2.63}}$$

$$D = 0,06087 \text{ m}$$

Por seguridad, el diámetro comercial de tubería será de 110 mm, con un diámetro interior de 99,6 mm, un espesor de 5,2 mm y una presión de trabajo de 181 Psi.

Tabla 30. Accesorios en la tubería de conducción del Grupo G.

Elementos	Diámetro	Pérdida unitaria [m]	Cantidad	Pérdida total [m]
Tubería PVC longitud 6 m	110 mm		207	
Cruz E/C	110 mm		1	
Codo L/RP E/C * 90°	110 mm		1	
Codo L/RP E/C * 45°	110 mm	1,2	2	2,4
Tee E/C	110 mm	3,6	2	7,2
Collar Derivación * 1''	110 mm		45	
Válvula de Bola con Universal Roscable	1''	15	19	285
Válvula de Aire	2''		1	
Válvula de Mariposa "Gatillo" con Brida Soldable E/C	110 mm		1	
Tapón Hembra E/C	110 mm		1	
Tubería de Polietileno	32 mm	15,19	7	106,33
Adaptador ASTM-ISO E/C	1'' a 32 mm		45	
<b>Total</b>				<b>400,93</b>

Fuente: Autores.

De igual forma, para el cálculo de las pérdidas totales y alturas piezométrica del grupo G, tenemos que mediante las ecuaciones (35) y (36):

$$L_T = 173 \text{ m} + 400,93 \text{ m}$$

$$L_T = 573,93 \text{ m}$$

$$h = 10,674 * \left[ \frac{0,014341^{1,852}}{150^{1,852} * 0,110^{4,871}} \right] * 573,93 \text{ m}$$

$$h = 10,29 \text{ mca}$$

Se determina que mediante la fórmula de Hazen – Williams es la manera más rápida y confiable para determinar pérdidas en las tuberías.

Tabla 31. Análisis de tubería de conducción del Grupo G.

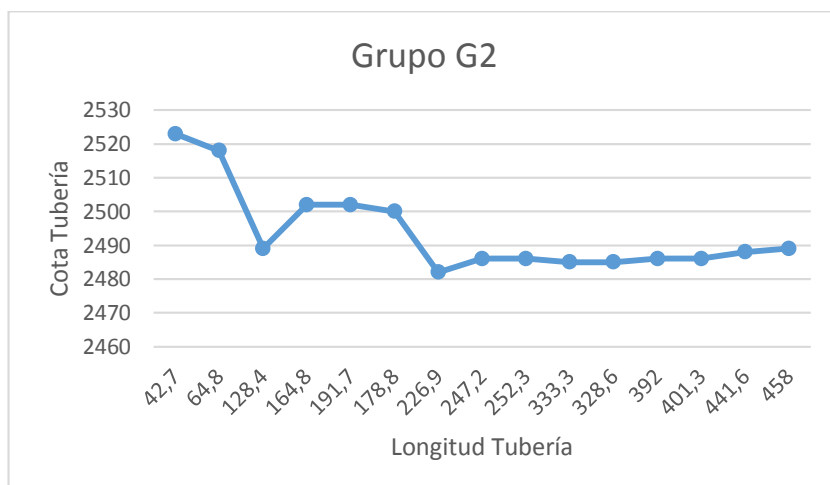
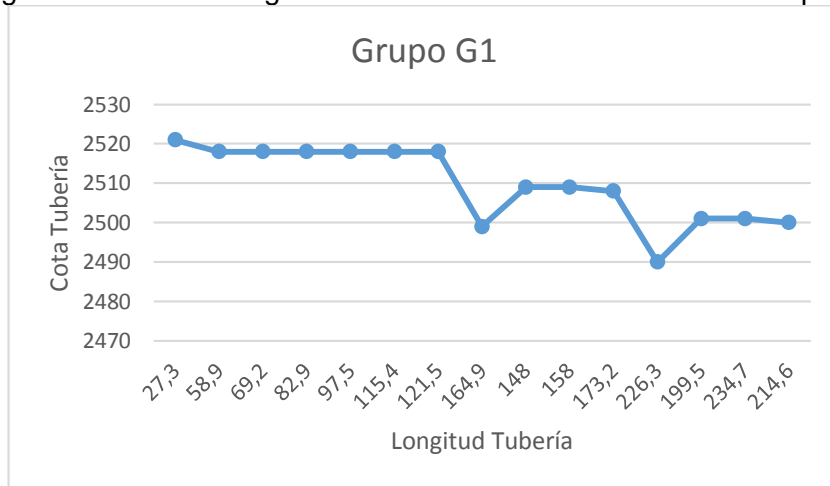
Long. lat. [m]	Long. terc. [m]	LT [m]	Caudal [m³/s]	J [M/m]	Hf [mca]	Vel. [m/s]	Cota tubería [msnm]	Cota piezo. [msnm]	Cota proyecto [msnm]	Presión	
										Estática [mca]	Dinámica [mca]
20,9	6,4	27,3	0,0143	0,0176	0,480	1,51	2521	2520,520	2518,5	0	-17,52
52,6	6,3	58,9		0,0176	1,037		2518	2516,963	2515,5	3	-7,96
65,4	3,8	69,2		0,0176	1,218		2518	2516,782	2515,5	3	-7,78
80,5	2,4	82,9		0,0176	1,459		2518	2516,541	2515,5	3	-7,54
94,9	2,6	97,5		0,0176	1,716		2518	2516,284	2515,5	3	-11,28
114,4	1	115,4		0,0176	2,031		2518	2515,969	2515,5	3	-23,97
120,5	1	121,5		0,0176	2,138		2518	2515,862	2515,5	3	-28,86
126	38,9	164,9		0,0176	2,902		2499	2496,098	2496,5	22	-9,10
134,5	13,5	148		0,0176	2,605		2509	2506,395	2506,5	12	-19,40
150,1	7,9	158		0,0176	2,781		2509	2506,219	2506,5	12	-18,22
168,8	4,4	173,2		0,0176	3,048		2508	2504,952	2505,5	13	-18,95
187	39,3	226,3		0,0176	3,983		2490	2486,017	2487,5	31	-0,02
196,5	3	199,5		0,0176	3,511		2501	2497,489	2498,5	20	-10,49
207	27,7	234,7		0,0176	4,131		2587	2582,869	2584,5	-66	-92,87
211,1	3,5	214,6		0,0176	3,777		2500	2496,223	2497,5	21	-7,22
41,4	1,3	42,7		0,0176	0,752		2523	2522,248	2520,5	-2	-35,25
58,1	6,7	64,8		0,0176	1,140		2518	2516,860	2515,5	3	-28,86
77,9	50,5	128,4		0,0176	2,260		2489	2486,740	2486,5	32	0,26
151,8	13	164,8		0,0176	2,900		2502	2499,100	2499,5	19	-10,10
173,9	17,8	191,7		0,0176	3,374		2502	2498,626	2499,5	19	-10,63
176,6	2,2	178,8		0,0176	3,147		2500	2496,853	2497,5	21	-10,85
220,4	6,5	226,9		0,0176	3,993		2482	2478,007	2479,5	39	7,99
236,2	11	247,2		0,0176	4,351		2486	2481,649	2483,5	35	5,35
246,2	6,1	252,3		0,0176	4,440		2486	2481,560	2483,5	35	4,44
322,6	10,7	333,3		0,0176	5,866		2485	2479,134	2482,5	36	5,87
327,6	1	328,6	0,0176	5,783	2485	2479,217	2482,5	36	5,78		
360,2	31,8	392	0,0176	6,899	2486	2479,101	2483,5	35	5,90		
396,8	4,5	401,3	0,0176	7,063	2486	2478,937	2483,5	35	7,06		
428,7	12,9	441,6	0,0176	7,772	2488	2480,228	2485,5	33	5,77		
429,7	28,3	458	0,0176	8,061	2489	2480,939	2486,5	32	3,06		
41,8	5,5	47,3	0,0176	0,832	2485	2484,168	2482,5	36	1,83		

Tabla 31. (Continuación)

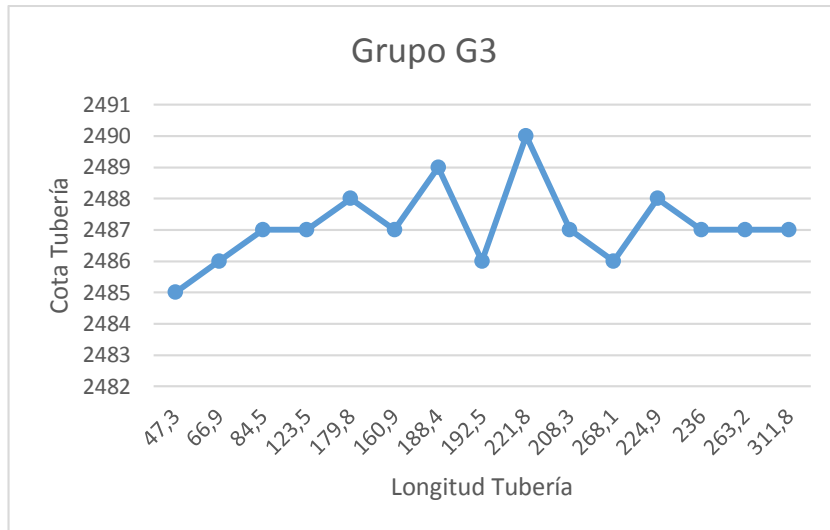
59	7,9	66,9	0,0143	0,0176	1,177	1,51	2486	2484,823	2483,5	35	0,18
79,8	4,7	84,5		0,0176	1,487		2487	2485,513	2484,5	34	-8,51
116,5	7	123,5		0,0176	2,174		2487	2484,826	2484,5	34	-7,83
145,7	34,1	179,8		0,0176	3,164		2488	2484,836	2485,5	33	-8,84
153,4	7,5	160,9		0,0176	2,832		2487	2484,168	2484,5	34	7,83
155,5	32,9	188,4		0,0176	3,316		2489	2485,684	2486,5	32	-16,68
179,1	13,4	192,5		0,0176	3,388		2486	2482,612	2483,5	35	-15,61
182,4	39,4	221,8		0,0176	3,904		2490	2486,096	2487,5	31	-18,10
193,4	14,9	208,3		0,0176	3,666		2487	2483,334	2484,5	34	-15,33
214,4	53,7	268,1		0,0176	4,718		2486	2481,282	2483,5	35	-56,28
217,8	7,1	224,9		0,0176	3,958		2488	2484,042	2485,5	33	-68,04
230	6	236		0,0176	4,154		2487	2482,846	2484,5	34	-36,85
247,2	16	263,2		0,0176	4,632		2487	2482,368	2484,5	34	-48,37
252,5	59,3	311,8		0,0176	5,488		2487	2481,512	2484,5	34	-80,51

Fuente: Autores.

Figura 26. Cota vs longitud de tubería en la conducción del Grupo G.







Fuente: Autores.

De acuerdo a las gráficas obtenidas en cada uno de los grupos correspondiente, se determina que el consumo de agua de riego para cada usuario cumple con los requerimiento de cada uno de ellos, incluso para un mayor tiempo de riego, ya que el almacenamiento es lo suficientemente grande para abastecer las necesidades de cada uno, y con posibles integraciones de más usuarios a los beneficios del agua y del sistema de riego por aspersión.

Algunos de los resultados mostrados en las gráficas, se observa puntos elevados por la irregularidad del terreno; pero el funcionamiento del sistema tendrá un buen resultado, ya que la cota a la que se encuentra el tanque de almacenamiento es superior a todos los puntos o cotas superiores de cada uno de los terrenos a regar.

## CAPITULO IV

### 4. ANALISIS DE COSTOS

Los costos de inversión de los proyectos son muy variables, dependen de una serie de factores, como: distancia de la fuente de agua, suministro de agua por gravedad, estructuras de captación, almacenaje requerido, aspectos económicos, tipos de materiales utilizados, condiciones de mercado de equipo y materiales, distancia entre los sitios de riego, los mercados de equipos, etc.

#### 4.1 Costos directos

Se derivan de la existencia de aquellos cuyo costo se trata de determinar, sea un producto o un servicio en el sistema de riego por aspersión.

Se ha considerado como costos directos:

- Costo de materiales
- Costo de mano de obra
- Costo de equipos y maquinaria
- Costos de transporte

**4.1.1 Costos de materiales.** Se detalla los costos de los diferentes materiales imprescindibles para la construcción del sistema de riego.

Tabla 32. Costos de materiales para el sistema hidráulico.

Elementos	Diámetro	Cantidad	Presión unitario [USD]	Sub total [USD]
Adaptador ASTM-ISO E/C	1'' a 32 mm	94	0,34	31,96
Adaptador ASTM-ISO E/C	2'' a 63 mm	63	0,73	45,99
Adaptador ASTM-ISO E/C	3'' a 90 mm	1	0,85	0,85
Codo E/C * 90°	140 mm	1	32,5	32,5
Codo E/C * 90°	160 mm	3	32,5	97,5
Codo L/R P E/C * 11.25°	140 mm	1	48,46	48,46
Codo L/R P E/C *11.25°	200 mm	56	39,87	2232,72
Codo L/R P E/C *22.5°	200 mm	18	53,34	960,12

Tabla 32. (Continuación)

Codo L/R P E/C * 45°	200 mm	8	65,26	522,08
Codo L/RP E/C * 11.25°	160 mm	4	48,46	193,84
Codo L/RP E/C * 22.5°	160 mm	2	32,5	65
Codo L/RP E/C * 22.5°	110 mm	1	53,34	53,34
Codo L/RP E/C * 45°	160 mm	4	65,26	261,04
Codo L/RP E/C * 45°	110 mm	3	65,26	195,78
Collar derivación	140 mm * 1''	12	13,54	162,48
Collar derivación	140 mm * 2''	6	15,6	93,6
Collar derivación (con refuerzo)	140 mm * 2''	1	22,7	22,7
Collar derivación (con refuerzo)	160 mm * 1''	63	22,9	1442,7
Collar derivación (con refuerzo)	160 mm * 2''	45	23	1035
Collar derivación (con refuerzo)	110 mm * 1''	19	18,85	358,15
Collar derivación (con refuerzo)	110 mm * 2''	15	21,65	324,75
Cruz E/C	110 mm	1	75	75
Tapón hembra E/C	140 mm	1	24,5	24,5
Tapón hembra E/C	160 mm	4	20	80
Tapón hembra E/C	110 mm	1	3,27	3,27
Tee E/C	160 mm	1	41,22	41,22
Tee reductora E/C * 140	160 mm	1	42	42
Tee reductora E/C * 140	110 mm	1	39,75	39,75
Tubería de polietileno	32 mm	47	2,05	96,35
Tubería de polietileno	63 mm	28	6,96	194,88
Tubería PVC longitud 6 m Novaferro	200 mm	461	120	55320
Tubería PVC longitud 6 m	200 mm	248	241,08	59787,84
Tubería PVC longitud 6 m	140 mm	141	64,68	9119,88
Tubería PVC longitud 6 m	160 mm	601	119,7	71939,7
Tubería PVC longitud 6 m	110 mm	251	52,95	13290,45
Válvula check	1''	6	49,6	297,6
Válvula check	2''	2	78,6	157,2
Válvula de aire	2''	6	51,45	308,7
Válvula de bola con universal roscable	1''	94	3,57	335,58
Válvula de bola con universal roscable	2''	61	8,59	523,99
Válvula de mariposa "Gatillo" con brida soldable E/C	140 mm	1	325	325
Válvula de mariposa "Gatillo" con brida soldable E/C	160 mm	4	525	2100

Tabla 32. (Continuación)

Válvula de mariposa "Gatillo" con brida soldable E/C	110 mm	1	190	190
<b>Suma</b>	222473,47			
<b>IVA</b>	26696,82			
<b>Total</b>	<b>249170,29</b>			

Fuente: (PLASTIGAMA, 2015)

Tabla 33. Materiales para obras civiles.

Material	Unidad	Cantidad	Costo c/u [USD]	Costo subtotal [USD]
Cemento	qq	150	7,8	1170
Ripio	vqt	10	85	850
Macadán	vqt	12	45	540
Piedra	vqt	8	60	480
Varilla de 10 mm	qq	406	44	17864
Tablas	u	100	4	400
Alfangías	u	70	2	140
<b>Total</b>	<b>21444</b>			

Fuente: Autores.

**4.1.2 Costos de equipos y maquinaria.** Se describe los equipos, máquinas y herramientas necesarias para la ejecución del proyecto de las obras civiles e hidráulicas.

Tabla 34. Costos de equipos y maquinaria.

Denominación	Horas / equipo	Costo [USD] - hora	Costos subtotal [USD]
Herramientas menores	200	0,2	40
Equipos de excavación	110	0,48	52,8
Concretera de un saco + encofrado	50	2,4	120
Compactadora	18	1,8	32,4
Cortadora dobladora de hierro	48	1	48
Equipo de topografía	72	3	216
Taladro a batt. 12v bosho	24	1,25	30
Cizalla	20	0,28	5,6
Tarrajá	15	1,56	23,4
Entenalla	72	0,15	10,8
Manómetro	24	0,16	3,84
<b>Total</b>	<b>582,84</b>		

Fuente: Autores

**4.1.3 Costos de mano de obra.** El siguiente listado corresponde exclusivamente a las estructuras ocupacionales que constan en la publicación de los salarios de las Comisiones del Ministerio del Trabajo, en los acuerdos N° 0256 y 0257, del 30 de diciembre del 2014; que están en vigencia a partir del 01 de enero de 2015.

Tabla 35. Coste de mano de obra.

Denominación	Categoría	Sal. real x hora [USD]	Hora- hombre [USD]	Costo subtotal [USD]
Técnico Agricultor	C2	3,39	36	122,04
Maestro Mayor	C1	3,57	120	428,4
Albañil	D2	3,22	120	386,4
Ayudante	E2	3,18	105	333,9
Peón	E2	3,18	240	763,2
<b>Total</b>				<b>2033,94</b>

Fuente: Ministerio de Trabajo

**4.1.4 Costo de transporte.** En la siguiente tabla se detalla los costos de transporte para cada sistema de equipos, materiales y del personal que eventualmente tenga que trasladarse fuera del área del proyecto.

Tabla 36. Coste de transporte.

Denominación	Unidad	Valor unitario [USD]	C. subtotal [USD]
Sistema de línea de presión	1	136	136
Sistema de conducción	1	264,24	264,24
Sistema de Línea regantes y Aspersores	1	107,35	107,35
Sistema de tanque de almacenamiento	1	500,88	500,88
<b>Total</b>			<b>1008,47</b>

Fuente: Autores.

Tabla 37. Costos directos.

Costo total directos	USD
Materiales del sistema hidráulico	249170,29
Material para obras civiles	21444
Costo de equipos y maquinaria	583,84
Costo de mano de obra	2033,94
costo de transporte	1008,47
<b>Total</b>	<b>274240,54</b>

Fuente: Autores.

#### 4.2 Costos indirectos.

Son los gastos de tipo general no incluidos en los costos directos, pero que intervienen para que el proyecto sea factible, considerando valores referenciales en relación a los costos directos.

Costos indirectos 15%

Tabla 38. Costos indirectos.

<b>Denominación</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>C. subtotal</b>
Imprevistos costos directos	5	13712,03
Montaje de equipos	2	11,6768
Construcciones provisionales	1	2742,41
Combustible	2	5484,81
<b>Total</b>		<b>21950,93</b>

Fuente: Autores.

#### 4.3 Costos totales.

Está representado en la suma de los costos directos y los costos indirectos.

Tabla 39. Costos totales.

<b>Denominación</b>	<b>Valor [USD]</b>
Costos directos	274240,54
Costos indirectos	21950,93
<b>Costo total</b>	<b>296191.47</b>

Fuente: Autores.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 5.1 Conclusiones

La captación del río Matus se realizó a través de una bocatoma lateral ya que la afluencia del río es 75 lt/s y este tipo de bocatoma cumple con las condiciones necesarias para su implementación.

Se realizó el levantamiento topográfico de la zona de riego para beneficiar a 189 familias.

Debido a la topografía de la zona, las dimensiones del desarenador fueron restringidas a cierto tamaño para su adecuada construcción y funcionamiento tanto en la bocatoma como a la entrada del tanque de almacenamiento.

El diseño del tanque de almacenamiento se lo realizo en tres secciones, conectadas una con otra; de tal forma que facilite la limpieza, sin dejar de suministrar el agua de riego.

Para la selección de tuberías, accesorios y otros elementos se realizó de acuerdo al área y a la cantidad de agua que requerirá cada una de las parcelas

La selección de tuberías, accesorios y otros elementos para el sistema de riego, se realizó en función a la topografía de la ruta seleccionada, balance hídrico, demanda de cultivos, caudal, energías necesarias y condiciones climatológicas de la zona de riego.

El costo del proyecto para su implementación en la zona, será de 296 191 dólares con 47 centavos.

En la implementación del sistema de riego por aspersión, el material utilizado es de PVC, que su período de vida útil será de 25 a 30 años y expuesta al sol será de a 6 años.

## **5.2 Recomendaciones**

Se debe reglamentar la participación de los beneficios del sistema de riego estableciendo derechos y obligaciones para dar seguimiento al mantenimiento y manejo para que estos tengan una buena producción.

Motivar un modelo de asociación donde se magnifique la producción del sector y así dejar atrás los modelos depredadores dejando de competir y teniendo una mirada comunitaria para que todos los productores puedan integrarse a la cadena productiva.

Para la conservación, mantenimiento y protección de las fuentes de agua se debe realizar la forestación en las partes cercanas a las fuentes de agua.

Aplicar riegos nocturnos, esto disminuye el valor de las pérdidas por evaporación.

No regar con viento alto ya que las altas velocidades del viento aumenta el porcentaje de perdida por evaporación y arrastre, disminuyendo la uniformidad de distribución de agua aplicada.



## BIBLIOGRAFÍA

- ALCOBENDAS, Pedro. 2012.** Riego por Aspersión. [En línea] <http://www.uclm.es>
- CORCHO ROMERO Freddy, DUQUE SERNA Jose Hignacio. 2005.** *Acueductos Teoría y Diseño*. Medellín : Sello Editorial Universidad Medellín, 2005.
- CRANE. 1989.** *Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías* . México : McGraw-Hill, 1989.
- ESTEVEZ, C. 2003.** *Diseñar un Sistema Semiautomático de Riego por Aspersión*. Riobamba : ESPOCH, 2003.
- FERNÁNDEZ, J. 1989.** *Manual Práctico con todas las Técnicas más Modernas*. Barcelona : De Vecchi, 1989.
- GARCÍA, I. y BRIONES, G. 1997.** *Sistema de Riego por Aspersión y Goteo*. Trillas-México : s.n., 1997.
- GUERRERO, Mónica.** Dspace. [En línea] <http://dspace.esPOCH.edu.ec>
- HUDSON, Ralph G. 1976.** *Manual del Ingeniero*. México : Limusa, 1976.
- LEON, J. 2004.** *Memorias del Curso de Riego por Aspersión y Goteo*. Riobamba : ESPOCH, 2004.
- LOZANO MIGUEL, J. 1964.** *Guía Práctica para el Riego*. EUA : Kansas, 1964.
- NAANDAN. 2001.** *Catalogue Irrigation Systems*. Israel : s.n., 2001.
- PALOMINO, Karen. 2009.** *Riego por Aspersión*. Miraflores-Lima : s.n., 2009.
- PLASTIGAMA. 2015.** *Catálogo de Tuberías y Accesorios*. Ecuador : s.n., 2015.
- RIOFRIO, P. 2007.** *Micro Hidroenergía*. Riobamba : s.n., 2007.
- SALAS, A.F., Urrestarazu, L.P. 2008.** Riego por Superficie. [En línea] <http://ocw.us.es>
- TARJUELO, J.M. 1999.** *El Riego por Aspersión y su Tecnología*. México : Mundi-Prensa, 1999.

