



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**Evaluación y propuesta de mejoramiento del Sistema de  
Riego en las comunidades de La Cruz, Membrillo, Patadel,  
Trancapata y Salocota pertenecientes al cantón Nabón.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO CIVIL CON MENCIÓN EN GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**Autores:**

**ADRIÁN MATEO LEÓN ELIZALDE  
CRISTIAN PATRICIO ÁVILA VÁSQUEZ**

**Director:**

**JOSUÉ BERNARDO LARRIVA VÁSQUEZ**

**CUENCA - ECUADOR**

**2018**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis quiero dedicarla con mucho cariño a todas las personas que supieron apoyarme en esta muy importante etapa de mi vida.

A mi mamá Tanya; por ser mi más grande apoyo e inspiración constante en todo momento, por todo su esfuerzo y todas las palabras de aliento en los momentos más difíciles y sobre todo por su gran amor y paciencia cuando más lo necesité. El logro de poder cumplir esta meta y ser quien soy ahora se lo debo completamente a ella.

A mi papá Santiago; por todos sus consejos y apoyo. Por ser mí ejemplo al enseñarme el verdadero valor del trabajo, el esfuerzo y la dedicación que implica hacer algo bien hecho.

A mi hermana Michelle; por todos los momentos y alegrías compartidos, por ser más que mi hermana, mi mejor amiga y mi más grande aliada en cada proyecto.

Todo este trabajo va con mucha gratitud y profundo amor hacia ustedes.

**Adrián Mateo León Elizalde**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar el presente trabajo a mi familia, principalmente a mis padres, Patricio y Susana, quienes nunca dejaron de confiar en mí y brindarme su apoyo incondicional en la consecución de esta importante etapa de mi vida; a mis hermanos y amigos que siempre estuvieron ahí durante este largo y difícil camino.

Esto va por ustedes.

**Cristian Patricio Ávila Vásquez**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer mucho a Dios en primer lugar por darme la fuerza necesaria ante cada adversidad y guiar mi camino siempre. A mi familia y mis grandes amigos que estuvieron siempre presentes en las buenas y las malas.

También quiero agradecer mucho a los ingenieros Josué Larriva, Javier Fernández de Córdova y Belén Arévalo; por su apoyo en cada paso, tanto como cuando fueron mis profesores, así como ahora siendo el tribunal de este trabajo; por ayudarnos con todos los consejos e implementos necesarios para que esto sea una realidad.

### **Adrián Mateo León Elizalde**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme brindado el tiempo y la fuerza necesaria para no decaer pese a las dificultades que se dieron a lo largo de este camino, a mis padres, quienes con su paciencia y esfuerzo supieron animarme a salir adelante y continuar con mi lucha.

Agradezco también a las personas que estuvieron involucradas en todo el proceso de culminación de este proyecto, gracias por ser mi guía y hacer que este proceso sea más llevadero.

### **Cristian Patricio Ávila Vásquez**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
Preliminares.....	1
1.    Introducción.....	1
2.    Problemática.....	2
3.    Objetivo general.....	3
4.    Objetivos específicos.....	3
5.    Alcances y resultados.....	3
CAPÍTULO 1 : LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
1.1    Ubicación y accesos.....	7
1.2    Población beneficiada.....	9
1.2.1    Diseño de la encuesta.....	9
1.2.2    Resultados.....	10
1.3    Actividad Económica.....	28
1.4    Aspectos culturales.....	29
1.5    Topografía.....	30
1.5.1    Instrumentos utilizados en el levantamiento topográfico.....	31
Estación Total.....	32
GPS.....	32
Radios de 2 vías (Walkie-Talkies).....	33

Herramientas y elementos topográficos .....	34
1.5.2 Metodología para el desarrollo del levantamiento topográfico .....	35
1.6 Curvas de Nivel .....	36
1.7 Franjas topográficas .....	38
1.8 Emplazamiento y Nivelación.....	43
1.9 Levantamiento Catastral .....	44
<b>CAPÍTULO 2 : TOMA DE CAUDALES Y ADJUDICACIONES DE AGUA EN LAS ZONAS DE ESTUDIO .....</b>	<b>48</b>
2.1 Toma de caudales.....	48
2.1.1 Caudal.....	48
2.1.2 Sección transversal .....	50
2.1.3 Medidores de velocidad.....	51
2.1.4 Velocidad Media .....	54
2.1.5 Caudales calculados.....	55
2.2 Autorizaciones de uso y aprovechamiento de agua .....	65
2.2.1 Caudal Aforado .....	66
2.2.2 Caudal de Estiaje .....	66
2.2.3 Caudal a Conceder.....	67
2.2.4 Caudal Ecológico.....	67
2.2.5 Tabla de adjudicación de agua .....	68
2.2.6 Resultados.....	68
<b>CAPÍTULO 3 : EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO MEDIANTE LA ESTIMACION DEL BALANCE HIDRICO.....</b>	<b>70</b>
3.1 Balance Hídrico .....	71
3.2 Caudal Disponible.....	74
3.3 Caudal requerido.....	77
3.4 Resultados.....	78
<b>CAPÍTULO 4 : DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA EXISTENTE .....</b>	<b>87</b>

4.1	Habitantes y riego .....	87
4.2	Recursos hídricos.....	89
	Caudales aforados .....	89
	Caudales adjudicados .....	92
	Caudales del Balance Hidrológico .....	93
4.3	Tabla de fallas en los canales.....	96
	Conclusiones.....	102
	Recomendaciones .....	104
	Bibliografía.....	105
	ANEXOS.....	107
	Anexo 1 Ficha catastral para sistemas de riego.....	107
	Anexo 2 Valores de precipitación acumulada mensual 2002-2011 en la estación M0420. ....	109
	Anexo 3 Valores de temperatura máxima, mínima y media mensual de las estaciones utilizadas en el estudio.....	110
	ANEXOS DIGITALES .....	111
	Anexo 4 Dibujos de Patadel (2 láminas).....	111
	Anexo 5 Dibujos de Salocota (4 láminas).....	111
	Anexo 6 Dibujos de Trancapata (2 láminas).....	111
	Anexo 7 Dibujos de La Cruz y Membrillo (6 láminas).....	111
	Anexo 8 Abscisado y perfiles del canal de captación (7 láminas) .....	111
	Anexo 9 Abscisado y perfiles Captación - reservorio Salocota (2láminas). 111	
	Anexo 10 Canal de Patadel (4 láminas) .....	111
	Anexo 11 Ramales del canal de Patadel en Salocota (3 láminas).....	111
	Anexo 12 Ramales del canal de Patadel en Patadel (9 láminas).....	111
	Anexo 13 Canal de La Cruz (3 láminas).....	111
	Anexo 14 Ramales del Canal de La Cruz hasta Membrillo (10 láminas) ...	111
	Anexo 15 Documento de Excel con los resultados de las encuestas.....	111

Anexo 16 Documento de Excel “Gráficos” de Balance Hídrico.....	111
Anexo 17 Documento de Excel “Análisis de Datos” de Balance Hídrico .	111
Anexo 18 Documento de Excel “Tabla Caudales” de Balance Hídrico.....	111
ANEXOS FÍSICOS .....	111
Anexo 19 Fichas de encuestas en las 5 comunidades .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación del cantón Nabón .....	5
Figura 1.2 División Política del Cantón Nabón .....	6
Figura 1.3 Ubicaciones de accesos a comunidades .....	8
Figura 1.4 Ubicación Geográfica Trancapata.....	8
Figura 1.5 Reunión con los usuarios de Patadel.....	22
Figura 1.6 Cerro Azhanga, ubicación punto inicial del sistema de riego.....	31
Figura 1.7 Estación Total Trimble M3 5” DR.....	32
Figura 1.8 GPS Garmin eTrex H.....	33
Figura 1.9 Radios de dos vías (Walkie-Talkie) marca Motorola .....	34
Figura 1.10 Trípode, bastón y prisma.....	34
Figura 1.11 Cinta Métrica y Flexómetro .....	34
Figura 1.12 Brújula.....	35
Figura 1.13 Estacas, Martillos y Clavos .....	35
Figura 1.14 Representación de planos horizontales y sus correspondientes curvas de nivel.....	37
Figura 1.15 Representación de Curvas de Nivel a lo largo del sistema .....	37
Figura 1.16 Vista general de las curvas pronunciadas existentes a lo largo de la captación principal .....	39
Figura 1.17 Curvas de nivel en las zonas de importancia 1 .....	39
Figura 1.18 Curvas de nivel en las zonas de importancia 2 .....	40
Figura 1.19 Curvas de nivel en las zonas de importancia 3 .....	40
Figura 1.20 Curvas de nivel en las zonas de importancia 4 .....	41
Figura 1.21 Curvas de nivel en las zonas de importancia 5 .....	41
Figura 1.22 Curvas de nivel en las zonas de importancia 6 .....	42
Figura 1.23 Curvas de nivel en las zonas de importancia 7 .....	42
Figura 1.24 Abscisado de Canal Principal cada 20m (hasta reservorio general)..	43
Figura 1.25 Abscisado total de Canal desde Reservorio hasta Trancapata y sus ramales .....	44
Figura 1.26 Levantamiento Predial sector Salocota.....	45
Figura 1.27 Levantamiento Predial sector Patadel.....	45
Figura 1.28 Levantamiento Predial sector Trancapata .....	46
Figura 1.29 Levantamiento Predial sectores La cruz y Membrillo .....	46

Figura 1.30 Foto de Iglesia y Plaza Central, sector La Cruz.....	47
Figura 1.31 Escuela Rosa Elena Zea, sector La Cruz .....	47
Figura 2.1 Área transversal del canal .....	50
Figura 2.2 Área transversal del canal dividido en 3 secciones de ancho igual y alturas diferentes .....	50
Figura 2.3 Medidor de velocidad por hélice.....	51
Figura 2.4 Medidor de velocidad por turbina.....	52
Figura 2.5 Medidor de velocidad por molinete .....	52
Figura 2.6 Medidor de velocidad electromagnético, utilizado en las aforaciones de este trabajo .....	53
Figura 2.7 Medidor electromagnético valeport ajustado a la altura adecuada .....	53
Figura 2.8 Interfaz que muestra los resultados promediados de la velocidad.....	54
Figura 2.9 Representación de las alturas a tomar en cada franja.....	55
Figura 2.10 Momento en el que se realiza una medición de velocidad en el canal de captación. ....	56
Figura 2.11 Caudales aforados en el canal de captación. ....	57
Figura 2.12 Ubicación de los puntos de aforo en el canal de captación.....	58
Figura 2.13 Fuente de agua en el canal de captación .....	58
Figura 2.14 Filtraciones en el canal a causa de robos con mangueras .....	59
Figura 2.15 Caudales aforados en el canal de Patadel .....	61
Figura 2.16 Ubicación de los puntos de aforo en el canal de Patadel .....	62
Figura 2.17 Caudales aforados en el canal de La Cruz .....	64
Figura 2.18 Ubicación de los puntos de aforo en el canal de La Cruz .....	65
Figura 3.1 Ubicación de las estaciones climatológicas utilizadas en la estimación del balance hídrico y áreas de estudio.....	70
Figura 3.2 Precipitación promedio mensual (2002-2011) estimada (interpolación IDW) en el área de aporte y medida en el área de predios (estación M0420, INAMHI). .....	71
Figura 3.3 Temperatura promedio mensual (2008-2011) extrapolada para el área de aporte y predios. ....	74
Figura 3.4 Evapotranspiración promedio mensual (2008-2011) en el área de aporte y predios. ....	79
Figura 3.5 Balance hídrico (P-ET) en el área de aporte de agua del sistema de riego. ....	79

Figura 3.6 Balance hídrico (P-ET) en el área de captación y en los predios para los diferentes tipos de cobertura. ....	81
Figura 4.1 Fuga de agua en el canal de captación .....	89
Figura 4.2 Corte en la pared del canal para desviar el caudal .....	90
Figura 4.3 Entradas de agua mal tapadas que provocan pérdidas .....	91
Figura 4.4 Aporte de agua #5 en el sector de Garo .....	93

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1 Población en Trancapata .....	11
Tabla 1.2 Uso del suelo en Trancapata.....	11
Tabla 1.3 Cultivos en Trancapata.....	11
Tabla 1.4 Valor económico en cada predio de Trancapata .....	12
Tabla 1.5 Datos del riego en Trancapata.....	12
Tabla 1.6 Población en Patadel .....	13
Tabla 1.7 Uso del suelo en Patadel.....	13
Tabla 1.8 Cultivos en Patadel.....	14
Tabla 1.9 Valor económico en cada predio de Patadel .....	14
Tabla 1.10 Datos del riego en Patadel.....	14
Tabla 1.11 Población en Salocota .....	15
Tabla 1.12 Uso del suelo en Salocota.....	15
Tabla 1.13 Cultivos en Salocota.....	16
Tabla 1.14 Valor económico en cada predio de Salocota .....	16
Tabla 1.15 Datos de riego en Salocota.....	17
Tabla 1.16 Población en La Cruz .....	17
Tabla 1.17 Uso del suelo en La Cruz .....	18
Tabla 1.18 Cultivos en La Cruz.....	18
Tabla 1.19 Valor económico en cada predio de La Cruz .....	19
Tabla 1.20 Datos de riego en La Cruz.....	19
Tabla 1.21 Población en Membrillo .....	19
Tabla 1.22 Uso del suelo en Membrillo .....	20
Tabla 1.23 Cultivos en Membrillo .....	20
Tabla 1.24 Valor económico en cada predio de La Cruz .....	21
Tabla 1.25 Datos de riego en Membrillo.....	21
Tabla 1.26 Listado de usuarios en Trancapata .....	23
Tabla 1.27 Listado de usuarios en Patadel .....	24
Tabla 1.28 Listado de usuarios en Salocota .....	25
Tabla 1.29 Listado de usuarios en Membrillo.....	26
Tabla 1.30 Listado de usuarios en La Cruz.....	27
Tabla 2.1 Aforaciones realizadas en el canal de captación.....	57
Tabla 2.2 Aportes y filtraciones en el canal de captación.....	59

Tabla 2.3 Pérdidas o aumentos de caudal en el canal de captación .....	60
Tabla 2.4 Aforaciones realizadas en el canal de Patadel.....	61
Tabla 2.5 Pérdidas o aumentos de caudal en el canal de Patadel.....	62
Tabla 2.6 Aforaciones realizadas en el canal de La Cruz .....	64
Tabla 2.7 Pérdidas o aumentos de caudal en el canal de La Cruz.....	65
Tabla 2.8 Ubicación y caudales aforados de las fuentes naturales de agua .....	68
Tabla 3.1 Código y ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas. ....	72
Tabla 3.2 Tipo de estaciones meteorológicas utilizadas. ....	72
Tabla 3.3 Tasa de lapso de temperatura (Tlr) máxima, mínima y media.....	73
Tabla 3.4 Coeficientes de cultivo utilizados para calcular la ET en los predios del sistema de riego.....	78
Tabla 3.5 Caudal promedio diario generado en el área de captación.....	80
Tabla 3.6 Volumen de agua disponible y requerido el sistema de riego.....	82
Tabla 3.7 Cobertura de la demanda de agua de los cultivos en el área de cultivos .....	83
Tabla 3.8 Áreas cultivadas y cultivables de los sectores.....	84
Tabla 3.9 Caudal disponible en la captación y caudal requerido en la zona de cultivos .....	85
Tabla 3.10 Caudales disponibles y requeridos por área de cultivo .....	85
Tabla 3.11 Caudal disponible y caudal requerido en litros por segundo y por cada hectárea tomando en cuenta las precipitaciones de la zona de cultivos .....	86
Tabla 4.1 Usuarios empadronados por sector. ....	88
Tabla 4.2 Resumen sobre la cantidad de predios, población y cultivos. ....	88
Tabla 4.3 Área cultivada vs. Área cultivable en cada sector y con porcentajes....	88
Tabla 4.4 Caudal disponible de la captación y caudal requerido por los predios.	94
Tabla 4.5 Caudal disponible de la captación y caudales requeridos mensualmente por cada sector.....	95
Tabla 4.6 Caudales disponibles y requeridos por área de cultivo tomando en cuenta las precipitaciones de la zona de cultivos. ....	96

## ÍNDICE DE ANEXOS

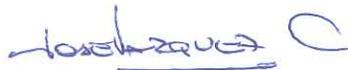
Anexo 1 Ficha catastral para sistemas de riego.....	107
Anexo 2 Valores de precipitación acumulada mensual 2002-2011 en la estación M0420. ....	109
Anexo 3 Valores de temperatura máxima, mínima y media mensual de las estaciones utilizadas en el estudio.....	110
Anexo 4 Dibujos de Patadel (2 láminas) .....	111
Anexo 5 Dibujos de Salocota (4 láminas) .....	111
Anexo 6 Dibujos de Trancapata (2 láminas) .....	111
Anexo 7 Dibujos de La Cruz y Membrillo (6 láminas).....	111
Anexo 8 Abscisado y perfiles del canal de captación (7 láminas) .....	111
Anexo 9 Abscisado y perfiles Captación - reservorio Salocota (2láminas) .....	111
Anexo 10 Canal de Patadel (4 láminas) .....	111
Anexo 11 Ramales del canal de Patadel en Salocota (3 láminas) .....	111
Anexo 12 Ramales del canal de Patadel en Patadel (9 láminas) .....	111
Anexo 13 Canal de La Cruz (3 láminas) .....	111
Anexo 14 Ramales del Canal de La Cruz hasta Membrillo (10 láminas) .....	111
Anexo 15 Documento de Excel con los resultados de las encuestas.....	111
Anexo 16 Documento de Excel “Gráficos” de Balance Hídrico.....	111
Anexo 17 Documento de Excel “Análisis de Datos” de Balance Hídrico .....	111
Anexo 18 Documento de Excel “Tabla Caudales” de Balance Hídrico.....	111
Anexo 19 Fichas de encuestas en las 5 comunidades .....	111

# **Evaluación y propuesta de mejoramiento del Sistema de Riego en las comunidades de La Cruz, Membrillo, Patadel, Trancapata y Salocota pertenecientes al cantón Nabón.**

## **RESUMEN**

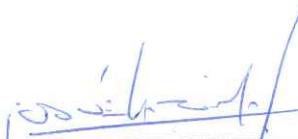
En este proyecto se realizó la evaluación del funcionamiento del sistema de riego "Patadel" para los subsistemas que abastecen a las comunidades "La Cruz, Membrillo, Patadel, Trancapata y Salocota". para lo cual se realizó un levantamiento topográfico del canal principal y de los lotes pertenecientes a las comunidades del sistema. Se determinó el caudal existente mediante aforos en diferentes puntos del canal, y se determinó los caudales necesarios a partir de encuestas sobre la valoración de usos de suelo y cultivos, y posteriormente se elaboraron los planos catastrales y perfiles del área de estudio. Finalmente se determinaron áreas de riego, caudales requerido y disponibles mediante un balance hídrico, a partir del cual se recomienda una propuesta de mejoramiento.

**Palabras clave:** balance hídrico, caudales, evaluación, levantamiento topográfico, riego.



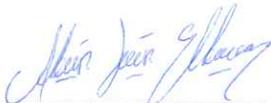
---

**Ing. Jose Vázquez Calero.**  
Coordinador de Carrera.



---

**Ing. Josué Bernardo Larriva Vásquez.**  
Director de Trabajo de Titulación



---

**Adrián Mateo León Elizalde**  
Autor



---

**Cristian Patricio Ávila Vásquez**  
Autor

# Evaluation and proposal to improve the irrigation system in the communities of La Cruz, Membrillo, Patadel, Trancapata and Salocota from Nabón

## ABSTRACT

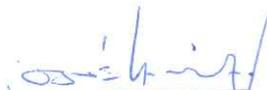
This project carried out the evaluation of the "Patadel" irrigation system for the subsystems that supply water to the communities of La Cruz, Membrillo, Patadel, Trancapata and Salocota. A topographic survey of the main channel and the lots of the communities from the system was carried out. The existing flow was determined by gauging in different points of the channel. The necessary flows were determined from surveys on the valuation of crops and land use. Subsequently, cadastral plans and profiles of the study area were prepared. Finally, irrigation areas, required flows and available flows were determined through a water balance, from which a proposal for improvement was recommended.

**Keywords:** water balance, flows, evaluation, topographic survey, irrigation.



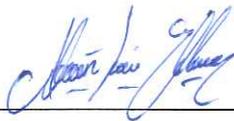
---

Ing. Jose Vázquez Calero.  
Faculty Coordinator



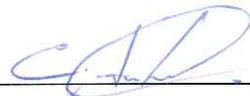
---

Ing. Josué Bernardo Larriva Vásquez.  
Thesis Director



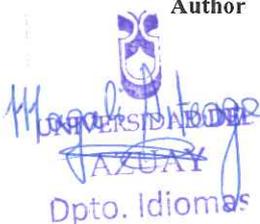
---

Adrián Mateo León Elizalde  
Author



---

Cristian Patricio Ávila Vásquez  
Author



Translated by  
Ing. Paúl Arpi

León Elizalde Adrián Mateo

Ávila Vásquez Cristian Patricio

Trabajo de Titulación

Ing. Josué Bernardo Larriva Vásquez, M. Sc.

Diciembre, 2018.

## **Evaluación y propuesta de mejoramiento del sistema de riego en las comunidades de La Cruz, Membrillo, Patadel, Trancapata y Salocota pertenecientes al cantón Nabón.**

### **Preliminares**

#### **1. Introducción**

El agua juega un rol fundamental en el desarrollo de la vida, y se trata de entender todo lo que implica su uso en diversas áreas alrededor del mundo para lograr un manejo óptimo y eficiente, aprovechando cada gota al máximo.

Desde que el hombre tuvo la necesidad de utilizar el agua en el inicio de los tiempos para poder sobrevivir, empezó a extraerla desde su origen natural, captándola y construyendo así los primeros canales para poder trasladarla a cualquier lugar específico, donde luego se utilizaría para sus diferentes usos, dependiendo la necesidad de cada usuario. Estos usos con el tiempo también evolucionaron y el agua ganó terreno en diversos campos laborales, de los cuales, siguen siendo hasta la actualidad de los más importantes la agricultura y la ganadería.

Tanto para la agricultura como para la ganadería, los canales de conducción de agua son fundamentales, ya que, la necesidad por tener un sistema de riego dentro de una comunidad se ha manifestado desde el tiempo en que las aldeas alrededor de todo el mundo empezaron a instalarse de manera estable. Los canales fueron un pilar para el desarrollo de la producción agrícola, dando a los pobladores la seguridad y la estabilidad de que sus recursos invertidos en un terreno o tierras de trabajo, darían los frutos económicamente esperados, ya que, el agua estaría a disposición de una manera más cómoda y útil, permitiéndoles así expandirse en las áreas de sembríos, generando mayor producción.

El uso del riego a gravedad o por inundación fue el primer método de riego en utilizarse, y hasta la fecha existen aún comunidades y lugares alrededor del mundo donde el método está en completa vigencia, a pesar de que se lo adapte a pequeñas modificaciones. Su finalidad siempre ha sido aumentar la producción dentro de una zona. Actualmente existen métodos de riego más desarrollados tales como: el método de aspersión o el de goteo; donde logramos optimizar mejor el uso del agua.

El riego por gravedad consiste básicamente en la conducción de una corriente de agua desde una fuente abastecedora hasta los campos en los cuales será aplicada de manera directa llegando a cubrir el terreno total o parcialmente (Hunt, 2009). Dentro del Ecuador, gran parte de los pueblos dedicados a la producción agrícola continúan utilizando este sistema de riego debido a su bajo costo de inversión, su facilidad de aplicación en terrenos irregulares, etc.

En este trabajo de titulación realizaremos la primera fase del proyecto de mejoramiento del sistema de riego “Patadel”, para esta fase se realizará la evaluación y propuesta de mejoramiento del mismo; todo esto en compañía y ayuda del Gobierno Provincial del Azuay.

Este sistema abastece de agua para uso agrícola y ganadero a las comunidades de: La Cruz, Membrillo, Patadel, Trancapata, Salocota, Hermano Miguel, Lluchin, Morasloma, Villastan y San José. Estos 10 sectores están ubicados en el cantón Nabón perteneciente a la provincia de Azuay, y el área que abarca a todos estos sectores es de aproximadamente 1880 Ha; debido a la gran extensión de la zona, se dividió en 2 grupos de evaluación, en esta tesis se realizará todo el trabajo para 5 de los 10 sectores que son: Salocota, Patadel, Trancapata, La Cruz y Membrillo. El otro grupo de trabajo realizará el mismo estudio de manera simultánea con los 5 sectores restantes.

## **2. Problemática**

La problemática de este estudio se da a causa de algunos factores como: la poca área de terreno cultivable bajo riego y el déficit de riego en varios sectores ya que se realiza el riego por inundación, la falta de eficiencia del sistema por su antigüedad, pues fue construida hace más de 30 años lo que provoca que ya en la actualidad existan

otros métodos y más aún se presente fallas en los canales, y la permeabilización de los suelos provoca que haya filtraciones donde se desperdicia el agua.

Esto afecta a todos los habitantes que trabajan en base al sistema de riego en áreas de agricultura y por ende afecta a la producción de la región. Lo que crea la necesidad de realizar una evaluación para identificar la capacidad real del sistema y las necesidades de los usuarios.

### **3. Objetivo general**

Realizar la evaluación del sistema de riego en los sectores de: La Cruz, Membrillo, Patadel, Trancapata y Salocota; para identificar las variables que presenta su funcionamiento y que se producen durante todo el trayecto del agua por sus diferentes canales hasta su disposición final en los terrenos de los usuarios.

### **4. Objetivos específicos**

1. Realizar el levantamiento de información del sistema mediante estudios estadísticos y de topografía de todo el sistema de riego para conseguir el área de riego, la longitud de las conducciones y recolectar información acerca de la situación actual y las necesidades de las personas en la comunidad con la ayuda de un censo mediante encuestas personales.
2. Realizar la medición de caudales a lo largo del sistema donde sea necesario y con una localización previa realizada con fiscalización para identificar la necesidad de riego por zonas.
3. Evaluar los tramos a lo largo de todo el sistema para determinar los problemas hidráulicos y físicos.
4. Dar un diagnóstico sobre el estado del sistema de riego luego de la evaluación, para que en una segunda fase, el plan del mejoramiento del sistema existente tendrá un correcto diseño con la ayuda de los datos obtenidos.

### **5. Alcances y resultados**

- Obtener los estudios topográficos y como resultado conocer, en su totalidad, las características del lugar para de este modo poder evaluarlo de forma precisa. Siempre en coordinación con Fiscalización.

- Determinar la longitud total de los canales y abscisarlos.
- Determinar de la eficiencia del sistema de riego actual.
- Análisis del caudal disponible en todas las zonas.
- Levantar el área de riego con todos los detalles catastrales como: vías, caminos, lotes o propiedades y elementos especiales como pueblos, escuelas, iglesias, parques, etc.
- Obtener un estudio estadístico mediante un censo donde obtendremos datos valiosos como: Ubicación y accesos, población beneficiada, actividad económica de las familias, aspectos culturales familiares, aspectos sociales y adjudicaciones de agua.

## CAPÍTULO 1 : LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El sistema ramificado de canales de riego “Patadel” que beneficia a los sectores de: Salocota, Patadel, Trancapata, La Cruz, Membrillo, Villastán, San José, Morasloma, Lluchin y Hermano Miguel, se encuentra emplazado dentro del cantón Nabón en la provincia del Azuay; el mismo que se sitúa a 69km de distancia de la ciudad de Cuenca.

El cantón Nabón se encuentra ubicado a una altitud de 3000m.s.n.m; con un área total de 63328.18 Hectáreas. En cuanto a su ubicación geográfica, se puede describir que el cantón limita al Norte con los cantones Girón y Sigsig, al Este por los cantones Gualaquiza (Morona Santiago) y 28 de Mayo (Zamora Chinchipe), por el Sur con el cantón Oña y por el Oeste con los cantones Saraguro (Loja), Santa Isabel y Girón.

A continuación en la **figura 1.1**, se muestra geográficamente la ubicación del cantón Nabón dentro de la provincia del Azuay:

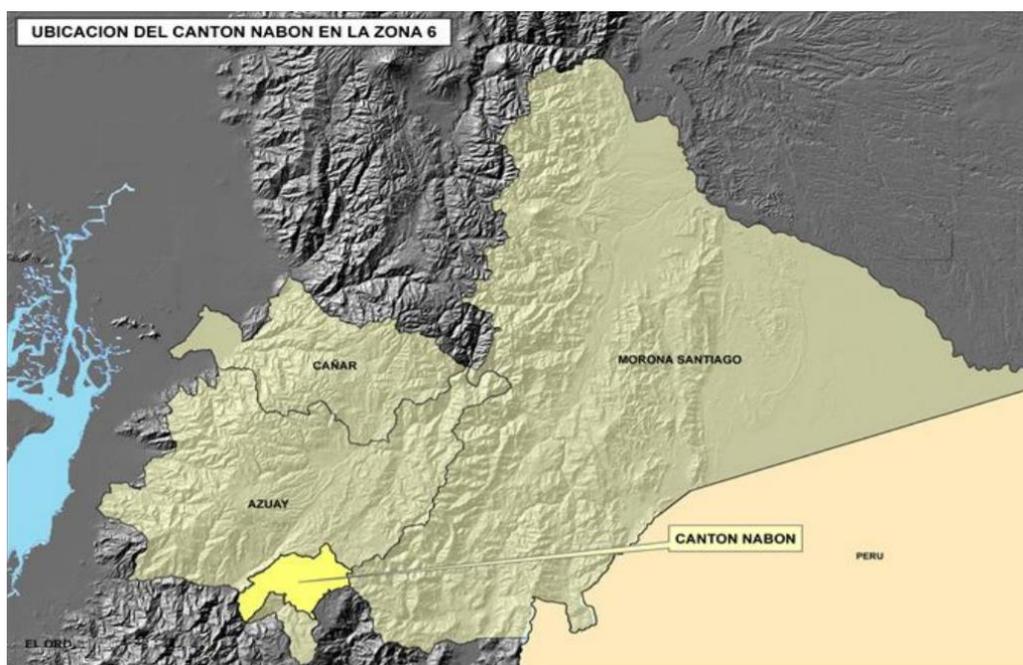


Figura 1.1 Ubicación del cantón Nabón

Fuente: GAD Nabón, 2015

Políticamente, el cantón Nabón se encuentra dividido a su vez por 4 parroquias principales, como se puede ver en la **figura 1.2**, las cuales son:

- Nabón (Cabecera Cantonal)
- Cochapata
- Las Nieves
- El Progreso

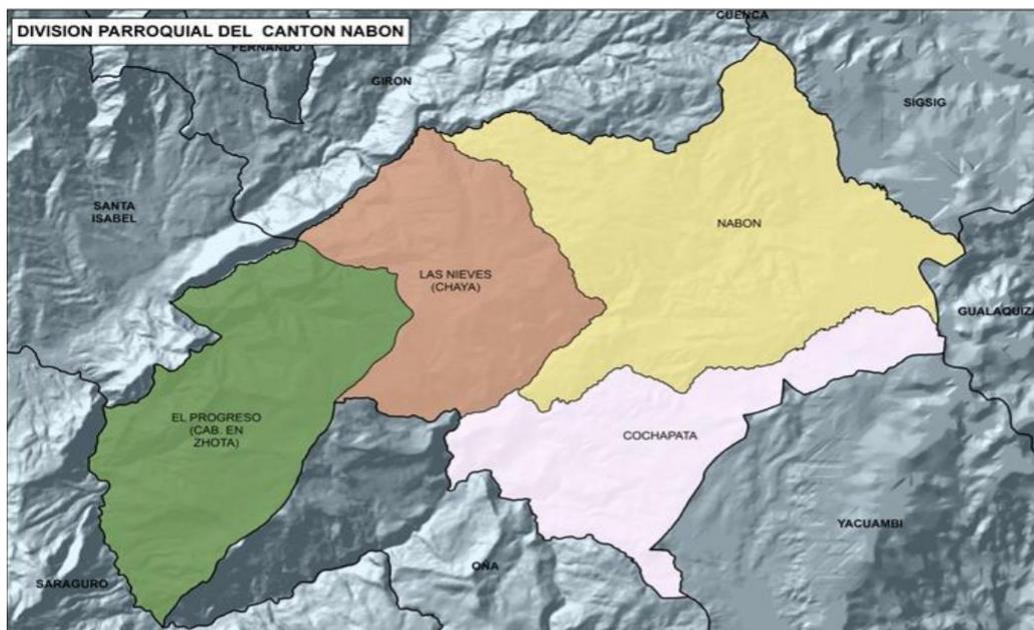


Figura 1.2 División Política del Cantón Nabón

Fuente: (INEC, 2007)

Además de las 4 parroquias antes mencionadas, el cantón Nabón abarca dentro de su territorio a cuatro comunas indígenas, jurídicamente aceptadas, las cuales son: Shiña, Chunazana, Morasloma y Puca.

En el ámbito social y cultural, se ha podido constatar que la mayor parte de la población de los sectores antes mencionados, dedican su tiempo a la agricultura y a la ganadería en pequeña escala, más no así con el afán de buscar el desarrollo de sus actividades como medio de sustento diario, ya que muchas veces la falta de recursos implica una limitante para que la población llegue a ofrecer sus productos a un mercado más amplio; es por esto que un grupo minoritario de pobladores, formado principalmente por los hijos de las familias que habitan en los diferentes sectores y en

casos muy puntuales por familias enteras, han decidido buscar su medio de sustento lejos de sus casas y ha optado por radicarse en otros lugares fuera del cantón y sus comunidades, lo que provoca en algunos casos el descuido de los terrenos y por ende la falta de productividad de los mismos.

### 1.1 Ubicación y accesos

Para el caso del presente proyecto de tesis se supondrá mayor interés en las comunidades de Salocota, Patadel, Trancapata, La Cruz y Membrillo; las cuales se encuentran ubicadas en la parroquia Nabón (Cabecera Cantonal), y se las puede ubicar geográficamente mediante las siguientes coordenadas (WGS84):

- Salocota: Longitud 719043 m E; Latitud 9631697 m S.
- Patadel: Longitud 717114 m E; Latitud 9631855 m S.
- Trancapata: Longitud 716150 m E; Latitud 9631572 m S.
- La Cruz: Longitud 718107 m E; Latitud 9632661 m S.
- Membrillo: Longitud 716838 m E; Latitud 9632768 m S.

Dentro del punto que hace referencia a las vías de acceso hacia la parroquia Nabón, se conoce que su ingreso se encuentra ubicado en la carretera Panamericana Sur aproximadamente a 69 km de distancia en el sentido Cuenca- Loja; la vía de ingreso al cantón lleva el nombre de “La Ramada - Nabón” y posee una longitud aproximada de 15 km.

En cuanto a las facilidades para ingresar a las distintas comunidades, existen 2 accesos que permiten llegar a las mismas (**figura 1.3**), el primero es el acceso a la comunidad Membrillo, y el segundo es el acceso a la comunidad Patadel, estos se encuentran ubicados a la altura del kilómetro 12.2 y 13.6, respectivamente, dentro de la carretera “La Ramada- Nabón”. Sin embargo, se ha denotado como el acceso más importante al de Patadel, debido a que conduce directamente al centro de la comunidad del mismo nombre, la cual contempla el mayor centro poblado dentro de todos los sectores; además, desde aquí existe una conexión directa hacia los diferentes sectores

como es el caso de La Cruz, Hermano Miguel, Salocota y el resto de los sectores en contexto.

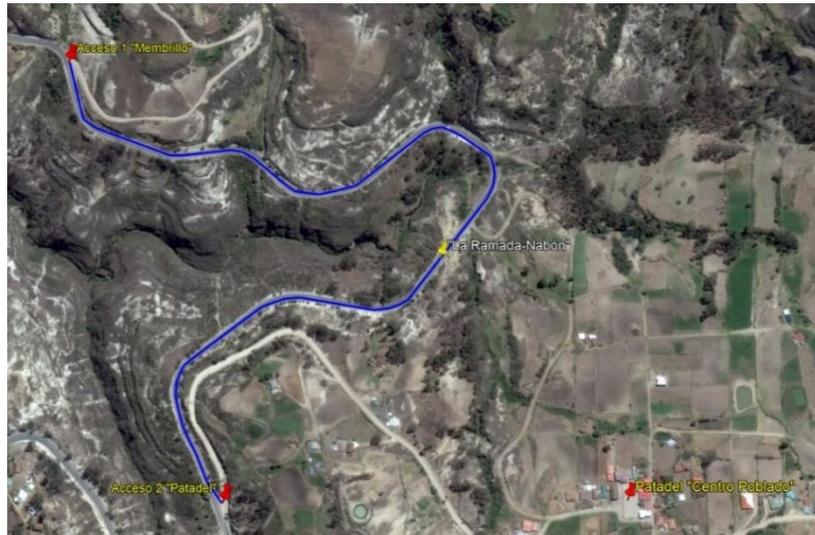


Figura 1.3 Ubicaciones de accesos a comunidades

Fuente: *Google Earth, 2018.*

De acuerdo a lo descrito en el párrafo anterior, las dos vías de ingreso hacia las comunidades son las que comunican directamente a la vía “La Ramada-Nabón” con las comunidades de Patadel, Membrillo, Salocota y La Cruz; sin embargo, en el caso de Trancapata la situación es distinta, debido a que dicha comunidad se encuentra ubicada al filo de la vía “La Ramada”, de manera que se ve atravesada en toda su longitud por la misma. En el siguiente gráfico (**figura 1.4**) se ilustra la ubicación de la comunidad Trancapata:



Figura 1.4 Ubicación Geográfica Trancapata

Fuente: *Google Earth, 2018.*

## **1.2 Población beneficiada**

Para poder determinar la población total beneficiada fue necesario realizar el diseño de una encuesta. Esta encuesta fue elaborada con el fin de conseguir la información relacionada en 3 aspectos: primero la población, para determinar la cantidad de hombres y mujeres que habitan en toda la zona de estudio; segundo los datos catastrales para determinar la cantidad de predios que hay por sector; y tercero el uso que se le da al suelo, con el fin de determinar todos los datos relacionados al sistema de riego, como el área total de riego y que uso se le da a los predios por cada sector.

### **1.2.1 Diseño de la encuesta**

Para la elaboración de la encuesta se tomó en consideración el objetivo de este trabajo, y junto con los parámetros establecidos en el “Manual para elaboración de encuestas agrícolas con múltiple marcos de muestreo” y el “Manual para la recolección integrada de datos de campo”, ambos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), se desarrollaron las preguntas para diseñar una encuesta que se acople a este estudio.

Las consideraciones que se tomaron para la elaboración de las preguntas relacionadas a la parte agrícola y ganadera son:

- Producción total de los productos agrícolas con sus respectivas superficies cultivadas.
- Número de predios dirigidos a cada tipo de uso ya sea este agrícola, ganadero, mixto (agrícola, ganadero, vivienda) y no cultivable.
- Calendario agrícola: épocas anuales de cosecha y siembra.
- Valor comercial o importancia del producto cultivado.
- Distribución de los terrenos empleados para cultivo y ganado.

Para las preguntas que tienen que ver sobre el funcionamiento del sistema de riego se tomó en consideración cosas como:

- Períodos de riego en cada predio.
- Método empleado para riego en cada predio.
- Calidad del servicio.

(FAO, 1996)

La encuesta tiene como objetivo conseguir los datos necesarios en los 3 aspectos importantes antes nombrados.

Para ello se la dividió por intereses en donde, la primera parte de la encuesta recolecta la información sobre el número de habitantes del sector y usuarios que se benefician del sistema de riego.

Después, se cuantifica el número de predios por sector que tiene cada usuario junto con el uso que le dan a cada uno, el tipo de cultivo predominante en cada predio y su mes de siembra y cosecha; junto a esto el Gobierno Provincial del Azuay solicitó que se realice un registro de coordenadas UTM de cada predio, en base a una ficha de recolección de datos que ellos usan en sus estudios y además como último dato de esta parte, el valor económico que le representa el predio al dueño.

Finalmente, se recolectó información sobre el sistema de riego donde se pregunta acerca del periodo de riego, el método utilizado y la calidad del servicio que reciben.

Todo esto se encuentra en el modelo de encuesta (**Anexo 1**) diseñado para los estudios.

## **1.2.2 Resultados**

Para cada sector de estudio se repitió el mismo proceso, los censos fueron realizados puerta a puerta y organizándonos por días según un orden establecido, para ello los habitantes de cada sector fueron avisados previamente con el día que les tocaba. (**Anexo físico**)

### **1.2.2.1 Trancapata**

Para la zona de Trancapata, ubicada en la parte más baja del sistema se determinó lo siguiente:

#### **Población**

Los datos de población recolectados de las encuestas realizadas en Trancapata dieron como resultado lo que se presenta en la **Tabla 1.1**:

*Tabla 1.1 Población en Trancapata*

<b>POBLACION</b>	<b>HOMBRES</b>	<b>MUJERES</b>
<b>73</b>	35	38
<b>100%</b>	47,95%	52,05%

Fuente: Autores

**Predios**

En esta zona luego del censo se determinó que está conformada por **23 predios**.

**Uso del suelo**

Los datos sobre el uso de suelo en cada predio recolectado en las encuestas realizadas en Trancapata dieron como resultado que de los 23 predios su uso se divide en lo que se presenta en la **Tabla 1.2**:

*Tabla 1.2 Uso del suelo en Trancapata*

<b>USO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
<b>Agrícola</b>	7	30,43
<b>Ganadería</b>	1	4,35
<b>Mixta</b>	15	65,22
<b>Vivienda</b>	0	0,00
<b>No cultivable</b>	0	0,00

Fuente: Autores

**Cultivos**

Los resultados de las encuestas realizadas en Trancapata para saber que cultivos predominan en el sector demuestran que, de manera descendente las áreas ocupadas por los diferentes cultivos son las que se presenta en la **Tabla 1.3**:

*Tabla 1.3 Cultivos en Trancapata*

	<b>CULTIVOS</b>	<b>Ha</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	<b>Maíz</b>	8,70	41,53
<b>2</b>	<b>Potrero</b>	4,85	23,15
<b>3</b>	<b>Hortalizas</b>	2,60	12,41
<b>4</b>	<b>Papas</b>	2,25	10,74

<b>5</b>	<b>Arvejas</b>	1,70	8,11
<b>6</b>	<b>Cebada</b>	0,60	2,86
<b>7</b>	<b>Alfalfa</b>	0,15	0,72
<b>8</b>	<b>Trigo</b>	0,10	0,48

Fuente: Autores

### Valor económico de cada predio

De los resultados obtenidos en las encuestas realizadas a los 22 usuarios del sector se consiguió la información que se presenta en la **Tabla 1.4**:

*Tabla 1.4 Valor económico en cada predio de Trancapata*

<b>USUARIOS</b>	<b>NUMERO</b>	<b>%</b>
<b>Poco valor económico</b>	19	86,36
<b>Autoconsumo y comercialización</b>	3	13,64
<b>Alto valor económico</b>	0	0

Fuente: Autores

### Riego

En este sector solo 2 usuarios cuentan con reservorio privado y solo el 45.45% de los usuarios están conformes con el servicio del sistema y los datos de periodo y tiempo del riego se resume en lo que se presenta en la **Tabla 1.5**.

*Tabla 1.5 Datos del riego en Trancapata*

<b>RIEGO</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>Periodo</b>	Cada 11 días
<b>Tiempo</b>	8,59 horas

Fuente: Autores

#### 1.2.2.2 Patadel

Patadel es un sector de mucha importancia para el sistema y el más poblado; por ello lleva el mismo nombre, en este sector se determinó lo siguiente:

## Población

Los datos de población recolectados de las encuestas realizadas en Patadel dieron como resultado lo que se presenta en la **Tabla 1.6**:

*Tabla 1.6 Población en Patadel*

<b>POBLACION</b>	<b>HOMBRES</b>	<b>MUJERES</b>
<b>179</b>	89	90
<b>100%</b>	49,72%	50,28%

Fuente: Autores

## Predios

En esta zona luego del censo se determinó que está conformada por **118 predios**.

## Uso del suelo

Los datos sobre el uso de suelo en cada predio recolectado en las encuestas realizadas en Patadel dieron como resultado que de los 118 predios su uso se divide en lo que se presenta en la **Tabla 1.7**:

*Tabla 1.7 Uso del suelo en Patadel*

<b>USO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
<b>Agrícola</b>	71	60,17
<b>Ganadería</b>	12	10,17
<b>Mixta</b>	27	22,88
<b>Vivienda</b>	0	0,00
<b>No cultivable</b>	8	6,78

Fuente: Autores

## Cultivos

Los resultados de las encuestas realizadas en Patadel para saber que cultivos predominan en el sector demuestran que, de manera descendente las áreas ocupadas por los diferentes cultivos son las que se presenta en la **Tabla 1.8**:

Tabla 1.8 Cultivos en Patadel

	<b>CULTIVOS</b>	<b>Ha</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	<b>Maíz</b>	14,82	55,57
<b>2</b>	<b>Potrero</b>	6,81	25,53
<b>3</b>	<b>Papas</b>	2,61	9,79
<b>4</b>	<b>Trigo</b>	0,64	2,42
<b>5</b>	<b>Hortalizas</b>	0,52	1,93
<b>6</b>	<b>Cebada</b>	0,49	1,84
<b>7</b>	<b>Arvejas</b>	0,36	1,36
<b>8</b>	<b>Otros</b>	0,35	1,31
<b>9</b>	<b>Habas</b>	0,05	0,19
<b>10</b>	<b>Mellocos</b>	0,02	0,07

Fuente: Autores

### Valor económico de cada predio

De los resultados obtenidos en las encuestas realizadas a los 46 usuarios del sector se consiguió la información que se presenta en la **Tabla 1.9**:

Tabla 1.9 Valor económico en cada predio de Patadel

<b>USUARIOS</b>	<b>NUMERO</b>	<b>%</b>
<b>Poco valor económico</b>	31	67,39
<b>Autoconsumo y comercialización</b>	13	28,26
<b>Alto valor económico</b>	2	4,35

Fuente: Autores

### Riego

En este sector solo 6 usuarios cuentan con reservorio privado y solo el 32.6% de los usuarios están conformes con el servicio del sistema y los datos de periodo y tiempo del riego se resume en lo que se presenta en la **Tabla 1.10**:

Tabla 1.10 Datos del riego en Patadel

<b>RIEGO</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>Periodo</b>	Cada 17,20 días
<b>Tiempo</b>	7,27 horas

Fuente: Autores

### 1.2.2.3 Salocota

Salocota es el sector donde está la mayor cantidad de hectáreas utilizadas para uso agrícola y ganadero entre los 5 sectores de estudio, en este sector se determinó lo siguiente:

#### Población

Los datos de población recolectados de las encuestas realizadas en Salocota dieron como resultado lo que se presenta en la **Tabla 1.11**:

*Tabla 1.11 Población en Salocota*

<b>POBLACION</b>	<b>HOMBRES</b>	<b>MUJERES</b>
<b>85</b>	37	48
<b>100%</b>	43,53%	56,47%

Fuente: Autores

#### Predios

En esta zona luego del censo se determinó que está conformada por **51 predios**.

#### Uso del suelo

Los datos sobre el uso de suelo en cada predio recolectado en las encuestas realizadas en Salocota dieron como resultado que de los 51 predios su uso se divide en lo que se presenta en la **Tabla 1.12**:

*Tabla 1.12 Uso del suelo en Salocota*

<b>USO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
<b>Agrícola</b>	13	25,49
<b>Ganadería</b>	14	27,45
<b>Mixta</b>	14	27,45
<b>Vivienda</b>	0	0,00
<b>No cultivable</b>	10	19,61

Fuente: Autores

## Cultivos

Los resultados de las encuestas realizadas en Salocota para saber que cultivos predominan en el sector demuestran que, de manera descendente las áreas ocupadas por los diferentes cultivos son las que se presenta en la **Tabla 1.13**:

*Tabla 1.13 Cultivos en Salocota*

	<b>CULTIVOS</b>	<b>Ha</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	<b>Potrero</b>	48,90	76,84
<b>2</b>	<b>Maíz</b>	8,40	13,20
<b>3</b>	<b>Papas</b>	4,15	6,51
<b>4</b>	<b>Hortalizas</b>	1,00	1,57
<b>5</b>	<b>Mellocos</b>	0,46	0,71
<b>6</b>	<b>Arvejas</b>	0,35	0,55
<b>7</b>	<b>Habas</b>	0,30	0,47
<b>8</b>	<b>Otros</b>	0,09	0,14

Fuente: Autores

## Valor económico de cada predio

De los resultados obtenidos en las encuestas realizadas a los 31 usuarios del sector se consiguió la información que se presenta en la **Tabla 1.14**:

*Tabla 1.14 Valor económico en cada predio de Salocota*

<b>USUARIOS</b>	<b>NUMERO</b>	<b>%</b>
<b>Poco valor económico</b>	12	35,29
<b>Autoconsumo y comercialización</b>	12	35,29
<b>Alto valor económico</b>	7	20,59

Fuente: Autores

## Riego

En este sector solo 11 usuarios cuentan con reservorio privado y solo el 20.59% de los usuarios están conformes con el servicio del sistema y los datos de periodo y tiempo del riego se resume en lo que se presenta en la **Tabla 1.15**:

Tabla 1.15 Datos de riego en Salocota

<b>RIEGO</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>Periodo</b>	Cada 9,00 días
<b>Tiempo</b>	10,23 horas

Fuente: Autores

#### 1.2.2.4 La Cruz

La Cruz es el sector medio del sistema, es el segundo más poblado entre las 5 zonas de estudio y el segundo con más hectáreas destinadas a uso agrícola; para el día de las encuestas 2 de los 56 usuarios no fueron encontrados; en este sector se determinó lo siguiente:

#### Población

Los datos de población recolectados de las encuestas realizadas en La Cruz dieron como resultado lo que se presenta en la **Tabla 1.16**:

Tabla 1.16 Población en La Cruz

<b>POBLACION</b>	<b>HOMBRES</b>	<b>MUJERES</b>
<b>174</b>	86	88
<b>100%</b>	49,43%	50,57%

Fuente: Autores

#### Predios

En esta zona luego del censo se determinó que está conformada por **101 predios**.

#### Uso del suelo

Los datos sobre el uso de suelo en cada predio recolectado en las encuestas realizadas en La Cruz dieron como resultado que de los 101 predios su uso se divide en lo que se presenta en la **Tabla 1.17**:

Tabla 1.17 Uso del suelo en La Cruz

USO	CANTIDAD	%
<b>Agrícola</b>	43	42,57
<b>Ganadería</b>	28	27,72
<b>Mixta</b>	24	23,76
<b>Vivienda</b>	3	2,97
<b>No cultivable</b>	3	2,97

Fuente: Autores

### Cultivos

Los resultados de las encuestas realizadas en La Cruz para saber que cultivos predominan en el sector demuestran que, de manera descendente las áreas ocupadas por los diferentes cultivos son las que se presenta en la **Tabla 1.18**:

Tabla 1.18 Cultivos en La Cruz

	CULTIVOS	Ha	%
<b>1</b>	<b>Potrero</b>	24,40	42,48
<b>2</b>	<b>Maíz</b>	19,67	34,25
<b>3</b>	<b>Papas</b>	9,66	16,82
<b>4</b>	<b>Trigo</b>	1,10	1,92
<b>5</b>	<b>Cebada</b>	0,90	1,57
<b>6</b>	<b>Mellocos</b>	0,72	1,25
<b>7</b>	<b>Arvejas</b>	0,55	0,96
<b>8</b>	<b>Otros</b>	0,40	0,70
<b>9</b>	<b>Hortalizas</b>	0,03	0,05

Fuente: Autores

### Valor económico de cada predio

De los resultados obtenidos en las encuestas realizadas a los 56 usuarios del sector se consiguió la información que se presenta en la **Tabla 1.19**:

Tabla 1.19 Valor económico en cada predio de La Cruz

USUARIOS	NUMERO	%
Poco valor económico	32	57,14
Autoconsumo y comercialización	22	39,29
Alto valor económico	0	0,00

Fuente: Autores

### Riego

En este sector solo 6 usuarios cuentan con reservorio privado y solo el 21.42% de los usuarios están conformes con el servicio del sistema y los datos de periodo y tiempo del riego se resume en lo que se presenta en la **Tabla 1.20**:

Tabla 1.20 Datos de riego en La Cruz

RIEGO	PROMEDIO
Periodo	Cada 8,26 días
Tiempo	7,75 horas

Fuente: Autores

#### 1.2.2.5 Membrillo

Membrillo es la zona final del segundo canal, este lugar a pesar de ser grande ha perdido capacidad de uso por problemas en su suelo dados por el exceso de filtración de agua. Este problema desencadenó una serie de hundimientos en la parte más baja del lugar, afectando a sus habitantes económicamente (perdida de viviendas). El día de las encuestas se ausentaron 4 usuarios y en este sector se determinó lo siguiente:

### Población

Los datos de población recolectados de las encuestas realizadas en Membrillo dieron como resultado lo que se presenta en la **Tabla 1.21**:

Tabla 1.21 Población en Membrillo

POBLACION	HOMBRES	MUJERES
74	32	42
100%	43,24%	56,76%

Fuente: Autores

## Predios

En esta zona luego del censo se determinó que está conformada por **42 predios**.

## Uso del suelo

Los datos sobre el uso de suelo en cada predio recolectado en las encuestas realizadas en Membrillo dieron como resultado que, de los 42 predios su uso se divide en lo que se presenta en la **Tabla 1.22**:

*Tabla 1.22 Uso del suelo en Membrillo*

<b>USO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
<b>Agrícola</b>	10	23,81
<b>Ganadería</b>	10	23,81
<b>Mixta</b>	14	33,33
<b>Vivienda</b>	0	0,00
<b>No cultivable</b>	8	19,05

Fuente: Autores

## Cultivos

Los resultados de las encuestas realizadas en Membrillo para saber que cultivos predominan en el sector demuestran que, de manera descendente las áreas ocupadas por los diferentes cultivos son las que se presenta en la **Tabla 1.23**:

*Tabla 1.23 Cultivos en Membrillo*

	<b>CULTIVOS</b>	<b>Ha</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	<b>Potrero</b>	24,90	66,10
<b>2</b>	<b>Maíz</b>	7,47	19,83
<b>3</b>	<b>Papas</b>	1,75	4,65
<b>4</b>	<b>Trigo</b>	1,25	3,32
<b>5</b>	<b>Otros</b>	0,75	1,99
<b>6</b>	<b>Cebada</b>	0,70	1,86
<b>7</b>	<b>Arvejas</b>	0,40	1,06
<b>8</b>	<b>Hortalizas</b>	0,20	0,53
<b>9</b>	<b>Mellocos</b>	0,20	0,53
<b>10</b>	<b>Habas</b>	0,05	0,13

Fuente: Autores

### Valor económico de cada predio

De los resultados obtenidos en las encuestas realizadas a los 27 usuarios del sector se consiguió la información que se presenta en la **Tabla 1.24**:

*Tabla 1.24 Valor económico en cada predio de La Cruz*

USUARIOS	NUMERO	%
<b>Poco valor económico</b>	15	48,39
<b>Autoconsumo y comercialización</b>	7	22,58
<b>Alto valor económico</b>	3	9,68

Fuente: Autores

### Riego

En este sector solo 2 usuarios cuentan con reservorio privado y solo el 45.45% de los usuarios están conformes con el servicio del sistema y los datos de periodo y tiempo del riego se resume en lo que se presenta en la **Tabla 1.25**:

*Tabla 1.25 Datos de riego en Membrillo*

RIEGO	PROMEDIO
<b>Periodo</b>	Cada 8,64 días
<b>Tiempo</b>	8,30 horas

Fuente: Autores

#### 1.2.2.6 Listado de usuarios por sector

Los usuarios son registrados en la junta de riego y se empadronan en uno de los sectores. Existen casos donde el usuario vive en cierto sector pero tiene terrenos en otros sectores, en estos casos se registran todos los terrenos que están a su nombre para el derecho del agua, pero no se lo nombra en el listado del resto de sectores sino solo en el que está empadronado. Para determinar estos listados fue necesario realizar una reunión con los usuarios de cada sector como se puede ver en la **figura 1.5**.

Figura 1.5 Reunión con los usuarios de Patadel



Fuente: Autores

Luego de la reunión realizada en cada sector se determinaron las siguientes listas de usuarios por sector:

*Tabla 1.26 Listado de usuarios en Trancapata*


---

<b>TRANCAPATA</b>	
1	Manuel Ignacio Ochoa Solano
2	Hermel Patricio Naula Quezada
3	María Rosaura Cabrera
4	Gerardina Ochoa Patiño
5	Marlon Santiago Paredes Piedra
6	Julieta Cumanda Ochoa Solano
7	Julio Cesar Ochoa Solano
8	Carlos Alberto Minga Mendía
9	Vicente Saúl Ascaribay Carrión
10	Segundo Manuel Cabrera Velásquez
11	Bertha Marina Patiño Guamán
12	María Hermelinda Naula Morocho
13	María Auxilio Carchi Suqui
14	Carmelina Amelia Velásquez Cabrera
15	Segundo Marcos Carchi Morocho
16	José Luis Suqui Morocho
17	Hilda Gerarda Suqui Minga
18	Julio César Minga Carchi
19	Lastenia Alexandra Sanmartín Morocho
20	Juan Carlos Morocho Chapa
21	Ángel Rodrigo Chapa Carchi
22	Rosario Leonor Ortega Ochoa
23	Carlos Manuel Naula Carrión
24	Rosa Patricia Morocho Velásquez
25	Rosa Amelia Ochoa Ordoñez

---

Fuente: Autores

Tabla 1.27 Listado de usuarios en Patadel

<b>PATADEL</b>			
1	Luis Alejandro Enríquez Suqui	27	Luis Gonzalo Patiño Enríquez
2	Cruz Gerardina Ortega Ortega	28	José Gabriel Patiño Morocho
3	Vilma Esperanza Ramón Quezada	29	Claudio Hernán Enríquez Enríquez
4	Milton Román Enríquez Suqui	30	Manuel Ángel Enríquez Remache
5	Luis Felipe Enríquez	31	Ángel Orlando Zaruma Patiño
6	Leandro Ricardo Enríquez Velásquez	32	Segundo Pedro Heredia Rojas
7	Lourdes Del Rocío Ochoa Morocho	33	Segundo Amable Enríquez Velásquez
8	Carlos Rolando Enríquez Enríquez	34	Alberto Miguel Morocho Coronel
9	Ángel Benigno Patiño Cabrera	35	Juan José Morocho
10	Manuel Mesías Morocho Morocho	36	Romel Oswaldo Enríquez Tocto
11	Manuel Virgilio Enríquez Velásquez	37	Sonia Leonor Patiño Ortega
12	Luis Rodrigo Enríquez Cabrera	38	Luis Antonio Morocho Coronel
13	José Alejandro Patiño Enríquez	39	José Reinaldo Morocho Coronel
14	Gilberto Enríquez Enríquez	40	Carlos Vinicio Morocho Morocho
15	Luis Antonio Patiño	41	Alfonso Roberto Morocho Morocho
16	Teodoro Gustavo Morocho Enríquez	42	Magno Patricio Patiño Patiño
17	Manuel De Jesús Enríquez	43	Marco Enrique Patiño Patiño
18	Luis Antonio Patiño Enríquez	44	José Eliseo Enríquez Patiño
19	María Dolores Enríquez Cabrera	45	Delia Agripina Patiño Quezada
20	María Carmelina Enríquez Enríquez	46	Franklin Romeo Patiño Laguna
21	Manuel Alcibíades Enríquez Patiño	47	Carlos Manuel Patiño Quezada
22	Ángel Vicente Enríquez Patiño	48	Reinaldo De Jesús Patiño Quezada
23	Zoila Griselda Enríquez Cabrera	49	Ángel Alvino Patiño Quezada
24	Rosa Herlinda Patiño Enríquez	50	José Ángeles Patiño Cabrera
25	Manuel Cristóbal Ochoa Ureña	51	Marina Amada Ochoa Ordoñez
26	Manuel Guillermo Enríquez		

Fuente: Autores

Tabla 1.28 Listado de usuarios en Salocota

<b>SALOCOTA</b>	
1	Segundo Juan Ochoa Patiño
2	Milton Hernán Patiño Cabrera
3	Ángel Rolando Morocho
4	Ángel Amable Patiño Quezada
5	Rosa Marcela Velásquez Morocho
6	Juan De La Cruz Cabrera
7	Carlos Gonzalo Cabrera Lalvay
8	Segundo Octavio Enríquez Enríquez
9	María De Jesús Guanuchi Morocho
10	Teresa Del Rocío Ochoa Guanuchi
11	Juan Pablo Ochoa Guanuchi
12	Marina Delicia Ochoa Ureña
13	Carlos Rigoberto Ochoa Guanuchi
14	Alejandro Alcibíades Ochoa Guanuchi
15	Daniel Secundino Ochoa Guanuchi
16	Vilma Yolanda Patiño Enríquez
17	Mario Patricio Ochoa Patiño
18	María Etelvina Guanuchi Morocho
19	Mateo Rodolfo Tirado Arias.
20	Mariana Maldonado

Fuente: Autores

Tabla 1.29 Listado de usuarios en Membrillo

<b>MEMBRILLO</b>	
1	Ángel Marcelo Patiño Ortega
2	Bolívar Alejandro Patiño Ortega
3	Amalia De Jesús Cabrera Morocho
4	José Luis Cabrera Rivas
5	José Miguel Naula Carchi
6	Mariana De Jesús Naula Miranda
7	Eusebio Santos Peralta
8	Mariana De Jesús Naula Patiño
9	Enma Cabrera
10	María Manuela Lalvay Yunga
11	Gilberto Yunga Naula
12	Rodrigo Idolberto Naula Cabrera
13	Carlos Armando Enríquez Patiño
14	Julia Lastenia Chávez Quezada
15	Luz María Quezada Carchipulla
16	María Luz Campoverde
17	Rosa Egma Naula
18	José Isaac Naula Naula
19	María Agustina Lalvay Yunga
20	Rubén Isaías Ortega Enríquez
21	Guillermina Ortega Ullaguari
22	Carlos Eduardo Patiño Enríquez
23	José Ángeles Cabrera Enríquez
24	Carlos Antonio Enríquez Coronel
25	Diana Magdalena Ortega Ortega
26	Ana Yolanda Ortega Ortega

Fuente: Autores

Tabla 1.30 Listado de usuarios en La Cruz

<b>LA CRUZ</b>			
1	Víctor Manuel Quezada Carrión	26	Luis Gonzalo Cabrera Morocho
2	José Nicanor Carrión Quezada	27	Carlos Antonio Cabrera Ortega
3	Higinio Alejandro Quezada	28	María Carmelina Carchi Morocho
4	Gabriel Oswaldo Aguirre Aguirre	29	Alejandro De Jesús Pillacela Lituma
5	José Arnulfo Quezada Quezada	30	Manuel Belisario Velásquez Lalvay
6	Nelson Nicanor Quezada Quezada	31	Manuel Filiverto Quezada Quezada
7	María Balvina Quezada Cabrera	32	Enrique Vicente Quezada Quezada
8	Antonio Palta Remachi	33	Julio Cesar Carchi Lalvay
9	Diego Eduardo Quezada Cabrera	34	Alvino De Jesús Velásquez
10	Galo Alfredo Quezada Cabrera	35	José Avelino Carchi Morocho
11	Milton Román Quezada Morocho	36	Luz Graciela Quezada Quezada
12	José Eduardo Carchi Ortega	37	Rosa Yaquelina Quezada Quezada
13	José Saúl Quezada Quezada	38	Gloria Marlene Quezada Quezada
14	Eudofilio Carchi Lalvay	39	Esilda María Patiño Quezada
15	Ángel Ricardo Carchi Morocho	40	Julio Gonzalo Quezada Morocho
16	María Etelvina Carchi Lalvay	41	Manuel Delicio Patiño Ochoa
17	José Lino Patiño Ramón	42	Eduardo Emiliano Carchi Morocho
18	José Francisco Cabrera Ortega	43	Elina De Jesús Naula Patiño
19	José Telesforo Coronel Sanmartín	44	Rubén Orlando Morocho Naula
20	Rosa Alcira Patiño Patiño	45	José Aníbal Morocho Naula
21	Edgar Francisco Ochoa Guanuchi	46	Rosa Adelaida Ortega Uyaguari
22	María Rosa Ana Morocho Mayaguari	47	Manuel Adolfo Patiño Ortega
23	Víctor Hugo Cabrera Morocho	48	Luis Gonzalo Carchi Morocho
24	Flavio Humberto Morocho Naula	49	Klever Porfirio Carchi Naula
25	María Rosenda Velásquez Morocho		

Fuente: Autores

### 1.3 Actividad Económica

Una buena economía es pilar en el desarrollo de un pueblo, y en una familia el trabajo es el pilar para el desarrollo de la misma. Las actividades económicas en zonas rurales son varias, pero la agricultura y ganadería predomina ante todo.

Aprovechando el censo realizado mediante las encuestas, se pudo recolectar información acerca de las actividades económicas que realizan las familias en cada sector. Se pudo constatar que en cada hogar todos trabajan con un fin común, el progreso; y en algunos casos uno de los miembros ha decidido salir a buscar trabajo en otros lugares para lograr este sustento. Pero el cariño a su origen hace que siempre regresen, al menos para visitar.

La principal actividad económica está en la agricultura y la ganadería, el trabajo que realizan es muy sacrificado y poco remunerado. La ganadería ha ganado bastante acogida en todas las comunidades en los últimos años, desplazando en algunos casos por completo a la agricultura, ya que, es menos trabajoso y da beneficios rápidos, en el caso de la leche se vende a carros recolectores de ciertas empresas que pasan semanalmente comprando por canecas o litros, y en algunos casos llevan su ganado a ferias donde logran vender, cambiar o adquirir otras; siendo las más cotizadas las vacas. Para la agricultura en los meses de octubre y noviembre se dedican a sembrar maíz que es el segundo cultivo que predomina luego de los potreros (pastos), y lo cosechan desde mayo. La mayoría de usuarios optan por cultivos rotativos todo el año, donde luego del maíz los siguientes cultivos que más son sembrados son: papa, trigo, cebada, mellocos y hortalizas en general.

Los ingresos promedio que reciben por sus actividades están en los **260 USD** mensuales, esto hace que la mayoría de cultivos sean utilizados en autoconsumo y represente un bajo valor económico todo el trabajo puesto en la tierra; los egresos de cada familia se encuentran principalmente en alimentación, en la inversión para continuar con la producción y en la crianza de sus hijos.

Seguido a la agricultura y la ganadería, otra fuente de trabajo está en la construcción, ya que algunos de los habitantes tienen conocimiento en esto y trabajan

como oficiales y maestros principales. Para ello suelen salir por temporadas de su hogar cuando el trabajo así lo amerita.

El sistema de riego es un punto clave y muy importante en el desarrollo de todos los sectores, la producción diaria y la visión de los habitantes actualmente se encuentra muy limitada ya que el sistema no les permite trabajar de manera óptima.

La mayoría de predios están siendo desperdiciados productivamente, porque el sistema de riego solo les abastece entre un 30 % y 40 % de su área total, al no poder utilizar la totalidad de sus predios las pérdidas se hacen presentes. A esto se le suma el hecho de que sus cultivos tampoco pueden tener el trato y cuidado que necesitan ya que tan solo el 14.9% de todos los usuarios disponen de un reservorio privado, el 85.1% restante de usuarios riegan en promedio cada 8 días.

De seguro, mejorar este servicio incrementaría la producción local de manera drástica.

#### **1.4 Aspectos culturales**

Los aspectos culturales van de la mano con el trabajo, el proyecto, y la calidad de vida de los habitantes existentes dentro de la zona de estudio y principalmente de los beneficiarios del sistema de riego.

Para esto se presenta una breve reseña acerca de las tradiciones y costumbres existentes en la zona de estudio, la población del cantón Nabón se encuentra distribuida de la siguiente manera: 6.9% en la zona urbana y 93.1% en la zona rural, lo que conlleva a que la principal fuente de trabajo o subsistencia de sus habitantes sea la agricultura; no obstante, la dispersión que existe entre sus comunidades, hace que el acceso a estas se vuelva complicado y de este modo dificulta además la comunicación entre ellas (GAD Nabón, 2015). Estas características existentes entre el cantón y sus comunidades, han hecho que al menos un 23% de su población sea analfabeta o que en general la gente no haya culminado más que sus estudios primarios (GAD Nabón, 2015).

Dentro de las tradiciones que existen en el cantón y sus comunidades, cada una de estas tiene su propia fecha para desarrollar sus festividades, acontecimientos que se

convierten en un motivo de júbilo y alegría para sus habitantes, los cuales por lo general y en coordinación con el dirigente de cada comunidad, organizan las festividades a llevarse a cabo durante estos días festivos, se realizan fiestas populares, bailes y espectáculos con artistas invitados; sin embargo, la falta de recursos económicos dentro de la administración de cada comunidad, obliga a que sea la misma gente la encargada de organizar dichos festejos, naciendo así la existencia de los priostes, que son gente encargada de donar cierto componente necesario para la realización de estas actividades festivas.

Un claro ejemplo de esta situación se da el día 24 de septiembre dentro de la comunidad de Patadel, donde existe una celebración en honor a la virgen de la Merced, razón por la cual, la comunidad realiza varias actividades como parte de una celebración especial.

Entonces, en conclusión, se puede decir que el componente humano y la solvencia económica de los habitantes dentro de las comunidades, marcan un papel muy importante al momento de buscar mantener estas tradiciones existentes desde hace varias décadas, y al ser la agricultura una de sus principales fuentes de subsistencia, es de suma importancia el contar con sistemas óptimos que permitan desarrollar de la mejor manera sus actividades diarias, en nuestro caso un sistema de riego que logre abastecer de la mejor manera las necesidades de los habitantes al momento del cuidado de sus sembríos.

## **1.5 Topografía**

La topografía tiene la capacidad de hallar dimensiones de una superficie a través de mediciones de distancias longitudinales, direcciones y elevaciones. El tema topográfico es de suma importancia para cualquier obra civil, por consiguiente también es un punto fundamental dentro de un sistema de riego en el cual se encuentran inmersos varios ítems a tomar en cuenta, ya que es posible medir y geo posicionar todos los elementos básicos y necesarios que componen un sistema de riego; es por esto que con el afán de conseguir la mayor cantidad de datos, este trabajo dio inicio en la zona de captación principal, zona denominada como cerro de Azhanga (**figura 1.6**) y ubicada en las coordenadas geográficas 726657.013 m E, 9633985.259 m S.



Figura 1.6 Cerro Azhanga, ubicación punto inicial del sistema de riego

Fuente: *Autores*

Es aquí donde se dio lugar al inicio de la medición del canal principal perteneciente al sistema, ya que, de acuerdo con datos expuestos por el SENAGUA, es en este punto en donde se encuentran ubicados los afluentes que dan origen al agua del sistema de riego, los cuales a su vez han sido autorizados y aceptados como las principales fuentes de aporte de agua para el sistema de riego. Esta zona está ubicada a 1 hora de distancia en vehículo de la zona poblada. El temporal de la zona, la mayoría parte del tiempo es frío y al tratarse de una zona de paramo, el camino de ingreso más próximo a la zona de interés se mantiene húmedo y con neblina.

Se acordó trabajar entre los 2 grupos de estudio, de modo que el primer grupo se mantendría desarrollando el levantamiento al inicio de la captación, mientras que el segundo grupo iniciaría su trabajo desde aproximadamente la mitad de dicho canal, esto con el fin de buscar avanzar de manera más rápida, haciendo uso de 2 estaciones totales del mismo modelo (Trimble M3 5" DR); el punto desde el cual se prosiguió la medición por parte del segundo grupo de estudio se encuentra ubicado en las coordenadas 722870.125 m E, 9633028.061 m S.

### **1.5.1 Instrumentos utilizados en el levantamiento topográfico**

A lo largo del trabajo de medición del sistema de riego, fueron necesarios varios tipos de instrumentos de apoyo, los cuales son fundamentales al momento de realizar

mediciones de este tipo, entre los principales instrumentos utilizados durante el estudio están:

- Estación Total
- GPS
- Radios de 2 vías (Walkie-Talkies)
- Herramientas y elementos topográficos
- Equipo de protección y cuidado personal.

### **Estación Total**

La herramienta de medición de precisión utilizada en el desarrollo del presente trabajo pertenece a la marca Trimble, su modelo es el M3 5" DR (**Figura 1.7**); como característica principal, esta herramienta se encuentra en la categoría de Producto Laser Clase 1, utilizada para mediciones planimétricas con o sin utilización de un prisma (UNE, 2002).

En cuanto a la precisión con la que trabaja este equipo, de acuerdo con el manual de usuario propio del instrumento, posee una precisión predeterminada de 1" en lo que se refiere a la medición de ángulos y de 0.001m en las distancias; sin embargo, es posible variar estas precisiones a conveniencia del usuario, es así que en cuanto a ángulos puede ser de 1", 5" y 10", mientras que en distancias pueden ser de 0.001m, 0.005m, 0.01m (Nikon-Trimble, 2005).



Figura 1.7 Estación Total Trimble M3 5" DR

Fuente: <http://arqytop.com/wp-content/uploads/trimble-m3.png>

### **GPS**

En la actualidad es uno de los instrumentos más utilizados en el campo de la topografía, ya que con él se pueden realizar levantamientos topográficos corrientes o

se pueden establecer puntos de control, esto con el fin de evitar una triangulación. (Torres & Villate, 2000)

En la realización del presente trabajo se contó con la ayuda de un GPS de la marca Garmin, en específico el modelo H de la serie eTrex (**Figura 1.8**), el dispositivo tiene una precisión  $< 10\text{m}$ , el cual permite obtener datos muy acercados a la realidad en lo que respecta a las coordenadas geométricas de un punto en el formato WGS84, aunque en ocasiones con ligeras variaciones en lo que respecta a las cotas o altitud en el mismo; no obstante, ayuda a trazar rutas, lo cual puede ser de gran ayuda al momento de que sea necesario hacer recorridos por lugares extensos (Garmin, 2007).



Figura 1.8 GPS Garmin eTrex H

Fuente: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81kXdp7WW-L.\\_SY550\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81kXdp7WW-L._SY550_.jpg)

### **Radios de 2 vías (Walkie-Talkies)**

Al ser un instrumento que permite la comunicación entre 2 o más personas a largas distancias, se vuelve un instrumento fundamental a la hora de realizar un levantamiento topográfico de gran tamaño, debido a que cuando nos enfrentamos a longitudes extensas, el poder lograr ese contacto continuo entre la persona que opera la estación total y las personas encargadas de llevar los bastones es algo que facilitará mucho el trabajo, debido a que a mayores distancias ya no se logra divisar con claridad a los prismas y por ende sería imposible realizar la toma de puntos, pero mediante la comunicación por los radios, se puede conocer con mayor detalle la ubicación de los prismas o dar referencias que pueden ayudar al topógrafo a lograr dar con su ubicación y de este modo continuar con el trabajo de medición canal (Wordpress, 2012). Para el trabajo realizado se escogió un juego de radios marca Motorola como se aprecia en la, **Figura 1.9.**



Figura 1.9 Radios de dos vías (Walkie-Talkie) marca Motorola

Fuente: <https://img.clasf.mx/2016/07/09/Radios-dos-vias-Motorola-TalkAbout-5725>

### Herramientas y elementos topográficos

Al igual que el instrumento principal, en este caso la estación total, las herramientas topográficas son de suma importancia al momento de realizar un levantamiento, ya que sin estas no sería posible concluir el trabajo. Entre las principales herramientas mínimas necesarias que se necesitan dentro de un levantamiento topográfico están (**figuras 1.10 – 1.13**):

- Trípode, bastón y prisma.



Figura 1.10 Trípode, bastón y prisma

Fuente: <https://http2.mlstatic.com/combo-1-topografia-baston-25-mts-tripode-aluminio>

- Cinta métrica y flexómetro.



Figura 1.11 Cinta Métrica y Flexómetro

Fuente: <http://herramientas-bricolaje.com/wp-content/uploads/2013/07/>

- Brújula.



Figura 1.12 Brújula

Fuente: [https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcREyP\\_](https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcREyP_)

- Estacas martillos y clavos para ubicar las estaciones.



Figura 1.13 Estacas, Martillos y Clavos

Fuente: [https://www.researchgate.net/profile/Walter\\_Orrala/publication/277985741/fig](https://www.researchgate.net/profile/Walter_Orrala/publication/277985741/fig)

### 1.5.2 Metodología para el desarrollo del levantamiento topográfico

Primero se delimito que cada punto tomado por la estación total sería aproximadamente cada 20 metros o menos, dependiendo de la geometría del canal; este proceso tiene como fin principal el de conocer a más de la geometría del canal, la diferencia de altitud o la pendiente que sigue el mismo, ya que es un dato de suma importancia al momento de realizar cualquier tipo de diseño en el mismo.

Continuando con la medición, se prosiguió canal abajo con el mismo esquema, encontrándonos con varias dificultades como son la vegetación u obstáculos en el camino los cuales dificultaban la realización de la misma; sin embargo, en muchos de estos casos fue necesario el uso de herramientas para lograr tener la visibilidad adecuada para la toma de puntos. Se pudo notar también la existencia de puntos de falla, como podían ser deslaves o puntos donde había canales no contemplados en el sistema cuyo fin era el de aprovechar el agua del canal de manera ilícita, es por eso que nuestro trabajo de “evaluación del canal” anexa estos puntos importantes y a tomar en cuenta ya que afectan directamente a la capacidad del canal.

Luego de la conclusión de la medición en el canal principal o captación del sistema, se llegó a la zona de los reservorios generales, los cuales también fueron medidos, incluyendo además sus respectivos desarenadores y tuberías de ingreso o desfogue de los mismos; en estos reservorios se almacena el agua necesaria para el abastecimiento de la misma a los 3 principales sectores componentes del sistema (Patadel, La Cruz, Morasloma) principalmente en épocas donde la lluvia es escasa; razón por la cual desde este punto la captación procede a dividirse en 3 ramales principales nombrados con la denominación anterior.

En el caso del primer canal denominado Patadel, comprendido a su vez por 3 módulos, los cuales son: Salocota, Patadel y Trancapata; este también se encuentra formado por un canal de conducción principal y un reservorio propio de cada módulo, además de ramales obligatorios para lograr de este modo lograr cubrir la zona de riego en su gran mayoría. Es así que a fin de cumplir con los requerimientos estipulados se cumplió con la medición del canal y sus ramales además de los reservorios como en el caso anterior. La situación se reiteró en el caso del segundo ramal nombrado LA CRUZ, el cual también se encuentra dividido en 3 módulos, esta vez denominados como: Hermano Miguel, La Cruz y por último Membrillo, como se describió anteriormente cada ramal fue medido en su totalidad, además de sus ramales, reservorios, pasos especiales y posibles zonas de falla o problemas.

### **1.6 Curvas de Nivel**

Las curvas de nivel, también conocidas como isohipsas, son un conjunto de líneas continuas usadas para representar el relieve de un terreno dentro de un mapa topográfico. Una curva de nivel hace referencia a un conjunto de planos horizontales (**figura 1.14**) los cuales al intersectarse con el terreno forman una línea, la cual se define mediante la unión de puntos de igual cota (Torres & Villate, 2000).

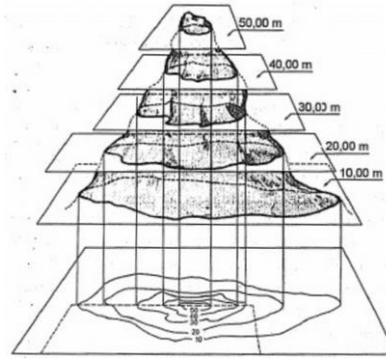


Figura 1.14 Representación de planos horizontales y sus correspondientes curvas de nivel  
Fuente: (Torres & Villate, 2000)

En conformidad con los términos establecidos para el desarrollo del presente estudio, se cumplió con la realización de las curvas de nivel correspondientes a todo el terreno en el cual se encuentra emplazado el sistema de riego; es por esta razón que con ayuda del software informático CIVILCAD 3D, se obtuvieron dichas curvas respetando la distancia impuesta de un metro entre cada una de ellas, además se realizó el etiquetado de las mismas cada 5 metros, con el fin de obtener mejores puntos de referencia. En la, **Figura 1.15**, se representan las curvas de nivel obtenidas con el levantamiento topográfico realizado en todas las zonas de trabajo. Además, en el **anexo digital** se encuentra el plano completo con las curvas de nivel tomadas a lo largo del proyecto, donde se puede apreciar en su totalidad todo lo relacionado a esta parte.

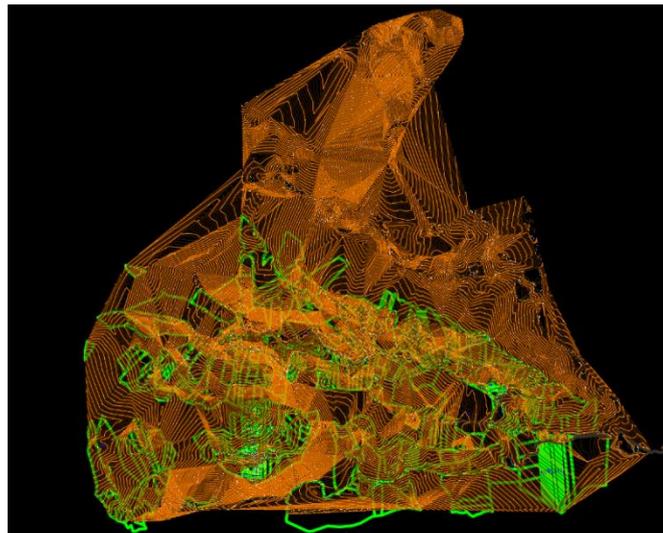


Figura 1.15 Representación de Curvas de Nivel a lo largo del sistema  
Fuente: Autores

### 1.7 Franjas topográficas

Se conoce como franja topográfica a la poligonal abierta en la cual se levantan perfiles transversales en cada una de sus abscisas, normalmente se realizan franjas topográficas para el diseño de vías. Una poligonal abierta es una sucesión de líneas rectas que unen puntos, el punto de origen y el punto final no se unen en este tipo de poligonal. Los vértices de la poligonal se denominan puntos de intersección y los ángulos que se miden en cada punto son ángulos de deflexión. Los perfiles transversales son líneas que se trazan perpendicularmente a los lados de la poligonal los cuales pasan por cada abscisa, los métodos que se utilizan para levantar dichos perfiles son los siguientes: cota redonda, desniveles y pendientes (Chacón, 2010).

En lo referente al presente estudio respecto a este punto, es poco lo que se puede desarrollar, ya que el presente proyecto no pretende la realización o emplazamiento de un nuevo sistema de riego, por lo tanto, en conjunto y con la aprobación de fiscalización, se concluyó en que no era necesaria la realización de las franjas topográficas como tal; sin embargo, como sugerencia por parte de fiscalización, se recomendó tomar puntos en ciertos lugares en los cuales el canal se podría ver perjudicado desde un punto de vista geométrico, ya sea por la existencia de curvas muy pronunciadas o pendientes muy bajas, las cuales tienden a producir disminución en la velocidad de flujo del agua o inclusive el estancamiento de la misma dentro de la conducción, para que estos puntos sirvan a futuro con el objetivo de buscar lograr un mejoramiento del canal y de estas zonas de importancia mediante la implementación de sifones invertidos o pasos especiales de agua, las cuales son estructuras que podrían reducir notablemente las distancias que recorre el agua y por ende lograrían una conducción más eficaz de la misma desde su fuente hasta los reservorios generales incluidos en el sistema.

Es por esta razón que dentro de los dibujos realizados respecto a la captación principal se nota la existencia de curvas de nivel en las zonas donde el canal sigue un rumbo muy accidentado o su geometría supone la existencia de curvas muy pronunciadas, como podemos observar a continuación (**figura 1.16 – 1.23**):



Figura 1.16 Vista general de las curvas pronunciadas existentes a lo largo de la captación principal

Fuente: *Autores*

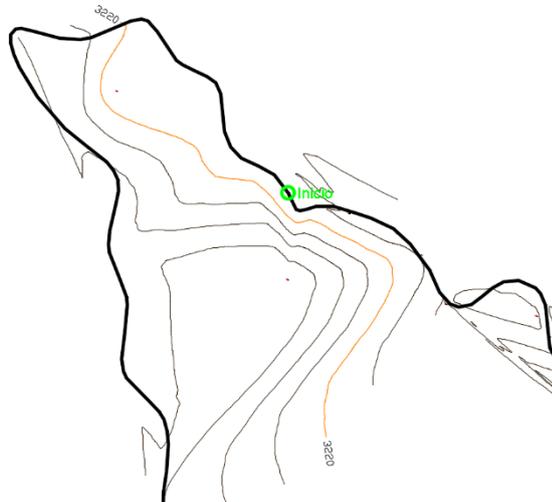


Figura 1.17 Curvas de nivel en las zonas de importancia 1

Fuente: *Autores*



Figura 1.18 Curvas de nivel en las zonas de importancia 2

Fuente: *Autores*

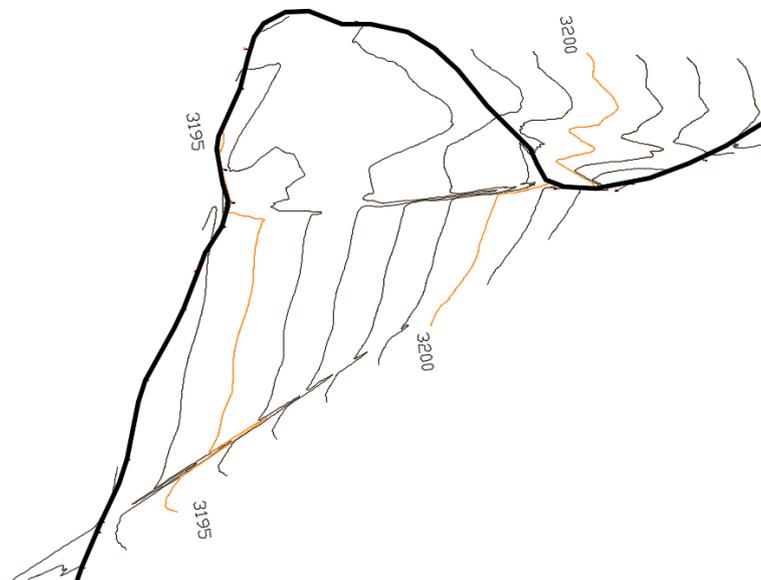


Figura 1.19 Curvas de nivel en las zonas de importancia 3

Fuente: *Autores*

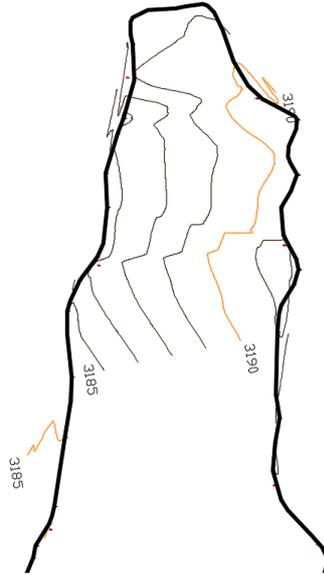


Figura 1.20 Curvas de nivel en las zonas de importancia 4

Fuente: *Autores*

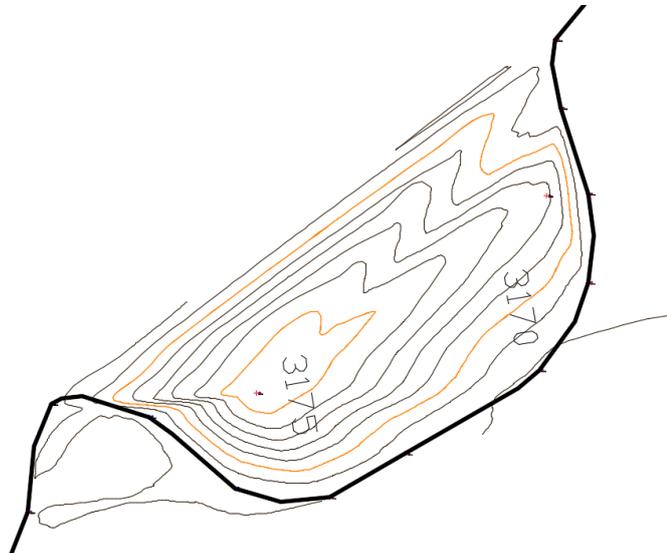


Figura 1.21 Curvas de nivel en las zonas de importancia 5

Fuente: *Autores*



Figura 1.22 Curvas de nivel en las zonas de importancia 6

Fuente: *Autores*



Figura 1.23 Curvas de nivel en las zonas de importancia 7

Fuente: *Autores*

### 1.8 Emplazamiento y Nivelación

En cuanto al desarrollo del abscisado de los canales, esto se desarrolló directamente mediante un software informático, en este caso CIVILCAD 3D (**figuras 1.24 y 1.25**), el cual en cumplimiento con los términos desarrolla dicho abscisado cada 20 metros en cada uno de los canales de importancia, como son la captación principal, ramales principales de cada sector y ramales secundarios de los mismos. Para el desarrollo de esta herramienta fue necesario obtener los puntos desde la estación total, acto seguido se procedió a la unión de los puntos que pertenecen a cada uno de los canales, teniendo así un canal principal o captación con una longitud de 14.36 km, luego el canal de Patadel con 5.19 km de longitud y por último el canal de la cruz 5.74 km de longitud.

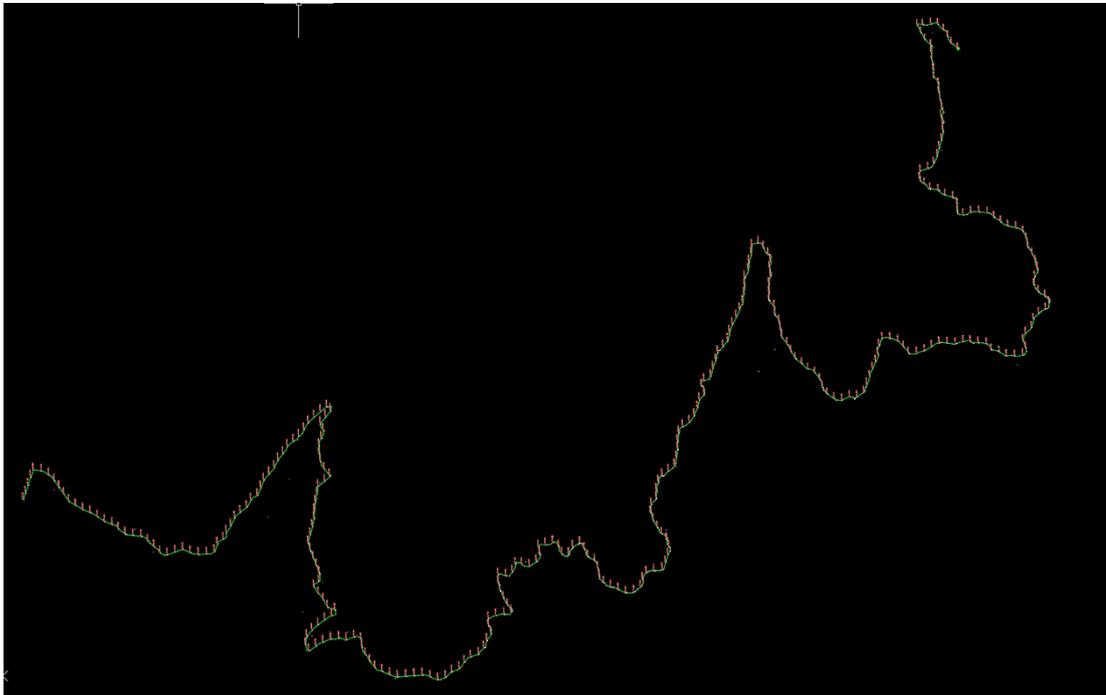


Figura 1.24 Abscisado de Canal Principal cada 20m (hasta reservorio general)

Fuente: *Autores*

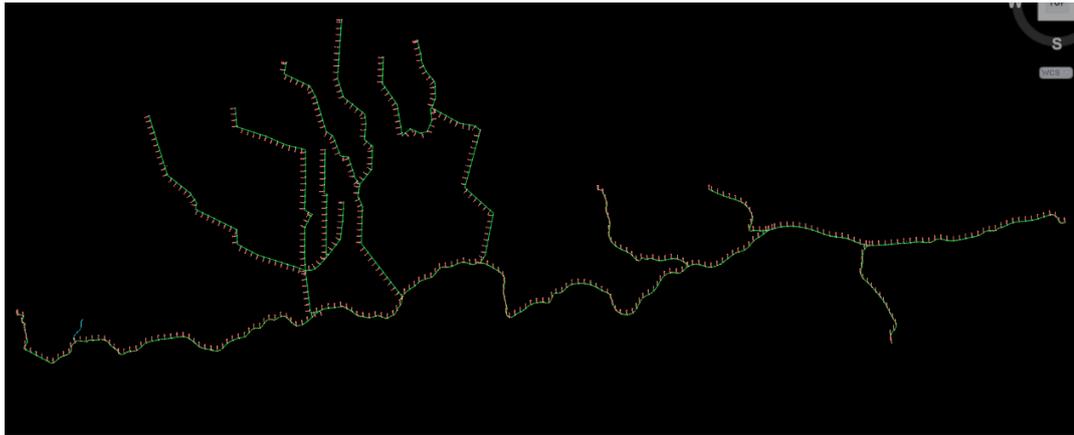


Figura 1.25 Abscisado total de Canal desde Reservorio hasta Trancapata y sus ramales

Fuente: *Autores*

### 1.9 Levantamiento Catastral

La realización del levantamiento catastral se desarrolló de la mano con la medición de los canales y con la estación total, debido a la facilidad que suponía el hecho de realizar la medición canal abajo. Con el fin de lograr datos precisos en cuanto a los predios y terrenos de cada propietario, se coordinó con la junta directiva de cada sector de estudio para que cada día acompañe una persona a recorrer los predios, para que en medida de lo posible cada uno de los beneficiarios estén presentes al momento de la medición de sus predios y de este modo lograr medir de manera correcta las formas y los linderos de cada terreno.

Respecto a las vías de acceso y carreteras, se tomaron puntos de referencia en varios sectores con el afán de lograr representar su forma y medidas al momento de realizar la digitalización de los puntos de dibujo, este trabajo al igual que lo antes dicho se realizó al mismo tiempo de las mediciones anteriores ya que los ramales seguían su rumbo a una orilla de las carreteras principales.

Esto con el fin de lograr una mayor exactitud al momento de buscar o ubicar cartográficamente cada uno de los sectores de interés como se pueden ver en las **figuras 1.26 – 1.31**.

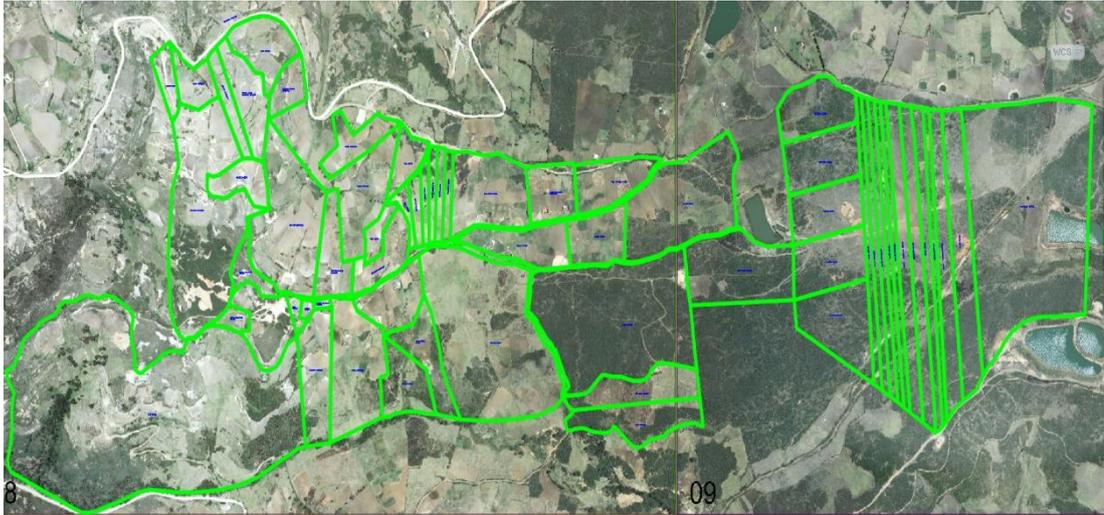


Figura 1.26 Levantamiento Predial sector Salocota

Fuente: *Autores*



Figura 1.27 Levantamiento Predial sector Patadel

Fuente: *Autores*





Figura 1.30 Foto de Iglesia y Plaza Central, sector La Cruz

Fuente: *Autores*



Figura 1.31 Escuela Rosa Elena Zea, sector La Cruz

Fuente: *Autores*

## **CAPÍTULO 2 : TOMA DE CAUDALES Y ADJUDICACIONES DE AGUA EN LAS ZONAS DE ESTUDIO**

Para todos los canales principales de la zona de aportación de agua mediante el riego, y para el de la zona de captación, que es el encargado en llevar el agua al reservorio general; es necesario realizar un estudio hidrológico donde, mediante la medición de caudales, ver qué pasa con el agua durante todo el trayecto, desde su nacimiento en el sector de Azhanga, que es donde empieza la captación, hasta su fin en los Sectores de Trancapata y Membrillo, que son los sectores finales en 2 de sus 3 divisiones que se dan en la zona del reservorio general .

### **2.1 Toma de caudales**

La toma de caudales se la realiza en puntos específicos localizados en todo el trayecto de conducción de los canales, desde la captación hasta las áreas de riego.

#### **2.1.1 Caudal**

Se define el caudal ( $Q$ ) como el volumen de agua ( $V$  , medido en litros o m<sup>3</sup>) que pasa por una sección transversal conocida, en un tiempo determinado ( $t$ ), como se puede ver en la **ecuación 2.1**:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.1)$$

Donde:

$Q$  = Caudal del flujo (m<sup>3</sup>/s)

$V$  = Volumen de agua (m<sup>3</sup> o litros)

$t$  = Tiempo (s)

##### **2.1.1.1 Método volumétrico**

Esta es la manera más sencilla de calcular los caudales pequeños y consiste en la medición del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. El flujo se desvía mediante una cañería, esta se encarga de trasladar el agua al recipiente y el tiempo que demora en llenarse se mide por medio de un cronómetro. Para caudales de más de 4 l/s, es adecuado un recipiente de 10 litros de capacidad. Y un recipiente de 200 litros puede servir para corrientes de hasta 50 l/s. El tiempo que se tarda en llenarlo

se medirá con precisión, especialmente cuando sea de sólo unos pocos segundos. La variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente dará una indicación de la precisión de los resultados. (FAO O. d., 1997)

### 2.1.1.2 Método velocidad superficie

Este método también define un valor para el caudal ( $Q$ ), y de hecho la manera como se calculará el caudal en el presente trabajo, es en base a la distancia recorrida por el agua en un tiempo determinado o velocidad ( $v$ ), con la cual circula el agua por el área transversal del canal ( $a$ ), como se puede ver en la **ecuación 2.2**:

$$Q = vm \times a \quad (2.2)$$

Donde:

$Q$  = Caudal del flujo ( $m^3/s$ )

$vm$  = Velocidad media del agua ( $m/s$ )

$a$  = Área transversal del flujo ( $m^2$ )

Para el cálculo de los caudales en el trabajo, será necesario proceder a calcular 3 áreas transversales y 3 velocidades medias en cada sección, esto da como resultado la obtención de 3 caudales y la sumatoria de estos 3 indica el caudal total que atraviesa aquel tramo del canal en ese instante.

Esto se realiza de esta manera para poder contar con resultados reales, ya que las velocidades no están uniformemente distribuidas en su sección debido a la superficie libre y a la fricción que se genera a lo largo de las paredes por ser un canal abierto. Esto más el hecho de ser un canal de tierra son los motivos por los cuales se recomienda dividir la sección del canal en franjas verticales, y para este trabajo se decidió hacerlo en 3 franjas. Por lo tanto los 3 caudales se calculan con las **ecuaciones 2.3 – 2.5** y su sumatoria con la **ecuación 2.6**:

$$Q_1 = vm_1 \times a_1 \quad (2.3)$$

$$Q_2 = vm_2 \times a_2 \quad (2.4)$$

$$Q_3 = vm_3 \times a_3 \quad (2.5)$$

$$Q = \Sigma(Q1 + Q2 + Q3) \quad (2.6)$$

### 2.1.2 Sección transversal

Se lo puede interpretar como una especie de corte perpendicular que se le hace a cualquier objeto o masa en uno de sus ejes. El área de la sección vista de frente es un plano en 2 dimensiones.

Como el área transversal del canal sirve para el cálculo del caudal de agua en cada punto específico, y además, como tiene una base irregular por ser un canal de tierra; será necesario dividir su ancho en franjas verticales de donde tomaremos el área de cada franja. Como para este trabajo se decidió dividir la sección del canal en 3 franjas verticales iguales ( $d$ ) debido a que esta es una división representativa acorde al ancho del mismo, se debe tomar 3 alturas diferentes ( $H$ ), para así lograr sacar 3 áreas transversales como se muestra en las **figuras 2.1 y 2.2**.

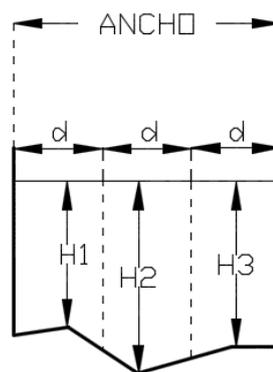


Figura 2.1 Área transversal del canal

Fuente: Autores

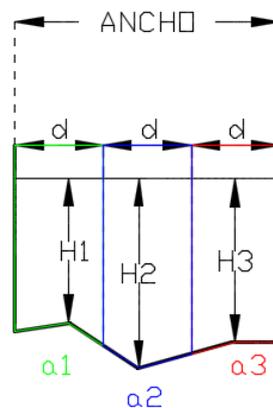


Figura 2.2 Área transversal del canal dividido en 3 secciones de ancho igual y alturas diferentes

Fuente: Autores

Esta es la figura general de una sección en el canal, de donde se calcula su área con la **ecuación 2.7**:

$$a = \Sigma(H_n \times d) \quad (2.7)$$

Donde:

$a$  = Área transversal del flujo ( $m^2$ )

$H_n$  = Altura de cada franja (m)

$d$  = Ancho de cada franja (m)

### 2.1.3 Medidores de velocidad

Existen diferentes tipos de medidores de velocidad que pueden servir, estos se diferencian según su exactitud, calidad y precio.

#### 2.1.3.1 Medidores de Turbina

Estos son los medidores más comunes, se los identifica por tener una turbina o hélice, que gira con el empuje del flujo de agua y el número de vueltas indica la velocidad del agua. A continuación se indica 3 modelos de este tipo de medidores:

Hélice

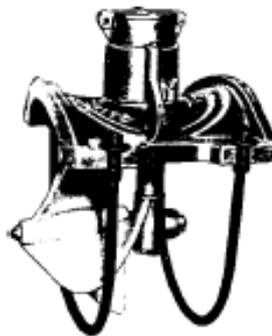


Figura 2.3 Medidor de velocidad por hélice

Fuente: (Ochoa, 1992)

Turbina



Figura 2.4 Medidor de velocidad por turbina

Fuente: (Ochoa, 1992)

Molinete

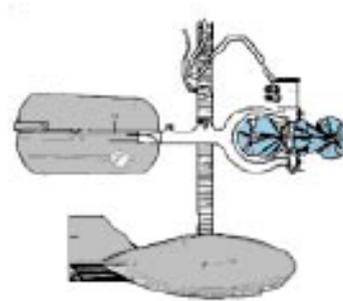


Figura 2.5 Medidor de velocidad por molinete

Fuente: (Ochoa, 1992)

### 2.1.3.2 Medidores electromagnéticos

Estos medidores son de los más exactos y esto se debe a que no provoca pérdida de carga piezométrica; consta de sensores que se estimulan por una corriente alterna generada al estar en contacto con el agua, con lo que se produce un campo magnético uniforme que genera una inducción de voltaje y esta es percibida por unos electrodos. El cambio de voltaje se relaciona con la velocidad del escurrimiento. El medidor es de acero inoxidable o aluminio, recubierto de neopreno, plástico o cerámica (Ochoa, 1992).

Para el cálculo de la velocidad media en este trabajo, se optó por utilizar un medidor electromagnético de flujo marca Valeport (MODEL 801 Electromagnetic Flow Meter), que se muestra en la **figura 2.6**, tiene dos tipos de sensores, y se adaptan a diferentes ambientes según sea la necesidad y la dificultad del terreno.



Figura 2.6 Medidor de velocidad electromagnético, utilizado en las aforaciones de este trabajo

Fuente: (Valeport, 2018)

El funcionamiento de este equipo no es de mayor dificultad; el sensor debe estar colocado a la altura requerida, calibrándolo mediante un tornillo sujetador en la varilla, la misma que se debe colocar de manera manual en la franja de sección indicada y según la altura del agua (**figura 2.7**). Luego se procede a generar un conteo de segundos programado previamente en su sistema, donde por cada segundo este toma 1 velocidad en el punto donde se lo coloco; los datos se actualizan a 1Hz y se pueden promediar sobre cualquier número de segundos de 1 a 600. La pantalla del dispositivo mostrará la velocidad en tiempo real datos a una resolución de 1 mm/s, así como el resultado de los datos promedio, y una figura de desviación estándar para dar datos adicionales confianza. La memoria del aparato registra todos los resultados (hasta 999 lecturas promediadas), y los datos pueden ser descargados a la PC utilizando el cable de interfaz RS232 suministrado. (Valeport, 2018)



Figura 2.7 Medidor electromagnético valeport ajustado a la altura adecuada

Fuente: Autores

En este trabajo se programó para que en cada medición dé una velocidad resultado de promediar 40 tomas de velocidades, al final, de manera teórica esta la velocidad aceptada para el cálculo, **figura 2.8**.

Pero a pesar de que el rango de promedios es bueno, por recomendación de un experto en el área, se realizó entre 2 y 3 veces la misma secuencia de los 40 conteos en cada punto, dándonos como resultado 2 o 3 velocidades por punto en cada franja, las cuales posteriormente fueron también promediadas (de manera manual), para ahora así obtener un valor oficial de velocidad por punto.



Figura 2.8 Interfaz que muestra los resultados promediados de la velocidad

Fuente: Autores

#### 2.1.4 Velocidad Media

Para el cálculo de la velocidad media y de acuerdo con el procedimiento de aforos de corrientes del U.S Geological Survey, es necesario dividir a la sección transversal del canal en franjas verticales sucesivas; en este estudio como ya se mencionó anteriormente, se decidió dividir a la sección transversal en 3 franjas. Las velocidades medias en cada franja se determinan midiendo la velocidad al 60% de su altura, o tomando el promedio de las velocidades en cada franja al 20% y 80% de su altura respectivamente, para contar con resultados más confiables como se muestra en la **figura 2.9** (Chow, 1994).

Para este trabajo, en función de la profundidad del canal en cada punto de medición, se optó por medir con el criterio del 60% en lugares donde la profundidad era menor a 65cm y con el criterio del 20% y 80% en los puntos donde la profundidad era mayor a 65cm y utilizando las **ecuaciones 2.8 y 2.9**:

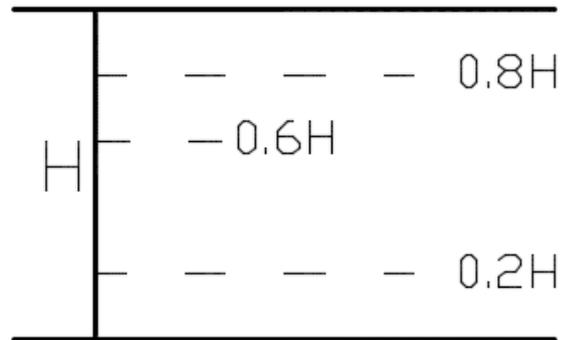


Figura 2.9 Representación de las alturas a tomar en cada franja

Figura: Autores

$$vm = \frac{(0.2H) + (0.8H)}{2} \quad (2.8)$$

$$vm = 0.6H \quad (2.9)$$

Donde:

$vm$  = Velocidad media del agua (m/s)

$H$  = Altura de cada franja (m)

### 2.1.5 Caudales calculados

Para realizar el aforo en canales abiertos (**figura 2.10**) se debe tener en cuenta ciertos criterios que permiten realizar el cálculo de manera correcta para así obtener resultados confiables. El objetivo de esta medición es ver el comportamiento del agua en el canal durante toda su trayectoria, para así poder determinar qué tipo de alteraciones sufre y si estas se dan por causas relacionadas al estado físico del canal.

Los criterios a tomar en cuenta fueron:

- Realizar el aforo en puntos donde el canal sea uniforme y no tenga ningún desnivel que altere el comportamiento del agua.
- Los puntos donde se realizarán los aforos deben ser previamente establecidos por fiscalización.
- Las mediciones de velocidades se harán al 60% de la profundidad del agua si es que esta profundidad es menor o igual a 65cm, en caso de ser mayor se

realizan 2 mediciones por punto, uno al 20% y otro al 80% de la profundidad, para luego promediarlos y obtener el valor medio definitivo.

- El clima y temporada debe ser apto para las mediciones ya que realizarlo en una época de mucha lluvia se pueden afectar los resultados.



Figura 2.10 Momento en el que se realiza una medición de velocidad en el canal de captación.

Fuente: Autores

Los puntos de aforo se los estableció junto con fiscalización del Gobierno provincial del Azuay; el sistema de riego de Patadel está compuesto por 4 canales principales; el primero y más importante le pertenece a la zona de captación, este desemboca en un reservorio general, de este reservorio nacen los 3 siguientes canales: Patadel, Cruz y Morasloma; que se encargan en distribuir el agua para todos los usuarios de las 10 comunidades a las que sirve el sistema de riego.

Para este trabajo se realizaron los aforos en el canal perteneciente a la captación, el canal de Patadel y en el canal de Cruz; ya que estos son los que llegan a nuestras 5 zonas de estudio.

### 2.1.5.1 Canal de Captación

En el primer canal con una longitud de 14.35 km, fiscalización determinó que se debían realizar los aforos cada 2 km aproximadamente, dependiendo de que si la zona donde se contaba los 2 km se presta o no para realizar un aforo correcto o si existe un punto de interés cerca, de ser así se desplaza unos metros hasta el lugar adecuado;

dando como resultado 7 mediciones como se puede ver en la **tabla 2.1** y en las **figuras 2.11 y 2.12**:

*Tabla 2.1 Aforos realizados en el canal de captación*

Puntos	Latitud (m)	Longitud (m)	Cota msnm	Caudal m/s	Caudal l/s
1	9633986	726658	3321	0,0280675	28,0675
2	9634458	725365	3280	0,127381	127,381
3	9633634	723901	3240	0,08428533	84,2853333
4	9632628	722951	3207	0,1028295	102,8295
5	9631738	722007	3172	0,082148	82,148
6	9631640	721332	3148	0,09137567	91,3756667
7	9631882	720838	3141	0,080409	80,409

Fuente: Autores

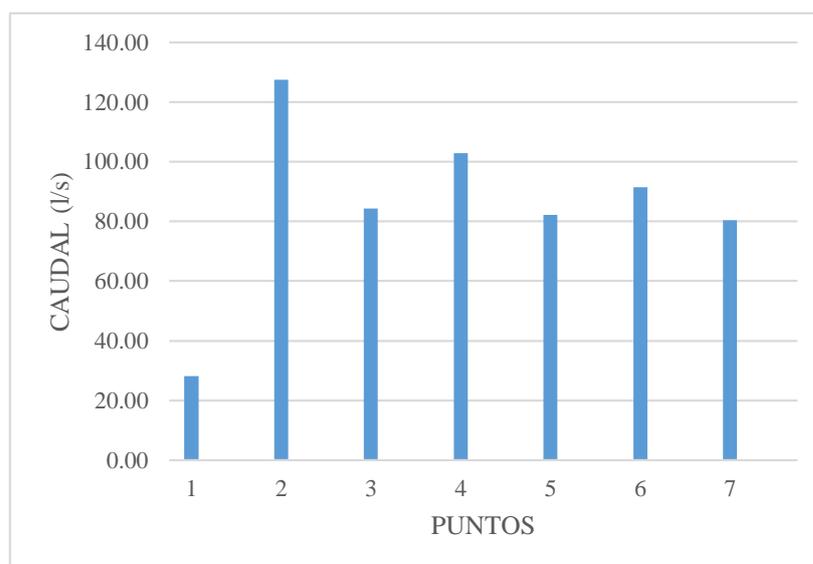


Figura 2.11 Caudales aforados en el canal de captación.

Fuente: Autores

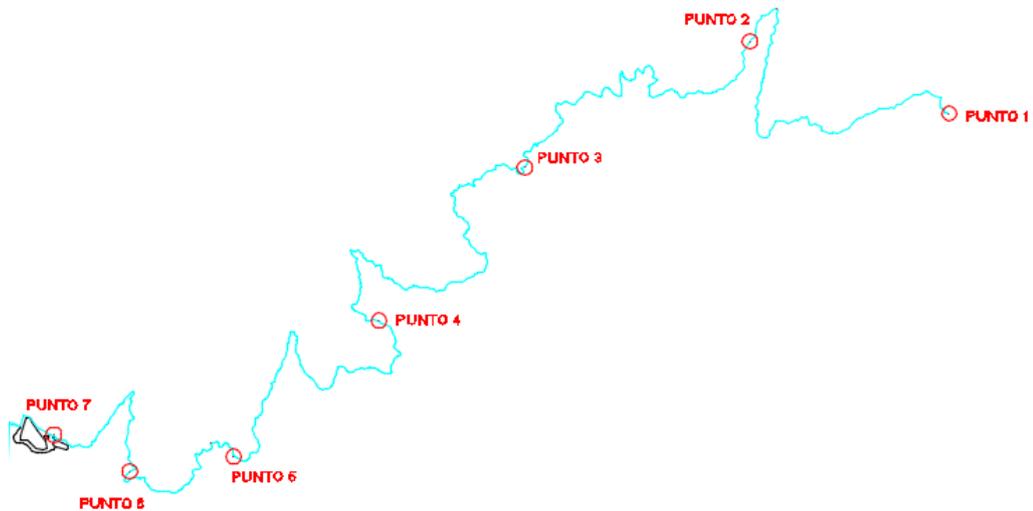


Figura 2.12 Ubicación de los puntos de aforo en el canal de captación

Fuente: Autores

El canal en general mantiene un flujo de agua estable, esto se debe a que tiene varios aportes de agua a lo largo de su trayectoria y de estos se hablará más adelante, pero también tiene varias zonas de filtraciones donde el agua del canal es sacada de manera arbitraria mediante mangueras o huecos hechos con palas para desviar cierta cantidad de caudal hacia los terrenos que se encuentran junto al canal, como se muestra en las **figuras 2.13 y 2.14**.



Figura 2.13 Fuente de agua en el canal de captación

Fuente: Autores



Figura 2.14 Filtraciones en el canal a causa de robos con mangueras

Fuente: Autores

La **tabla 2.2** muestra la cantidad de aportes y filtraciones que existen a lo largo del canal. Se tomaron como puntos de referencia los puntos de aforo:

*Tabla 2.2 Aportes y filtraciones en el canal de captación*

<b>Puntos</b>	<b>Aportes</b>	<b>Filtraciones</b>
1 - 2	5	5
2 - 3	4	7
3 - 4	1	7
4 - 5	0	2
5 - 6	1	1
6 - 7	0	1
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>23</b>

Fuente: Autores

Las filtraciones que tiene son parte de un grupo de problemas que rodean al canal y mejorando esto se podría mejorar completamente el rendimiento del mismo.

Se puede relacionar directamente a estas filtraciones con la pérdida de caudal en cada tramo, en la **tabla 2.3** se aprecia esto de mejor manera.

Tabla 2.3 Pérdidas o aumentos de caudal en el canal de captación

Punto	Caudal Inicial (l/s)	Caudal Final (l/s)	Aportes	Filtraciones	Pérdida (l/s)	Aumento (l/s)
1 - 2	28,07	127,38	5	5	0	99,31
2 - 3	127,38	84,29	4	7	43,10	0
3 - 4	84,29	102,83	1	7	0	18,54
4 - 5	102,83	82,15	0	2	20,68	0
5 - 6	82,15	91,38	1	1	0	9,23
6 - 7	91,38	80,41	0	1	10,97	0
<b>TOTALES</b>					<b>75</b>	<b>127,09</b>

Fuente: Autores

Se puede apreciar claramente que aunque la pérdida que sufre el canal es de 75 l/s recibe un aumento de 127.09 l/s a lo largo de su trayectoria. Esta pérdida es bien fuerte pero no se la siente así porque sin embargo gracias a los aportes de quebradas y vertientes el agua llega con un buen caudal al reservorio. La zona más crítica se la localiza entre Garo y Piñan.

### 2.1.5.2 Canal de Patadel

Para este canal de 5.19 km se procedió a realizar los aforos tomando en cuenta la zona de inicio del canal, el comienzo de cada sector a los que abastece el sistema y al final del canal, dándonos como resultado 4 mediciones: la primera en el comienzo de Salocota luego de reservorio general, la segunda al final de Salocota e inicio de Patadel, la tercera al final de Patadel e inicio de Trancapata y la cuarta al final antes de llegar al reservorio de Trancapata.

En este canal se presentó de manera similar un flujo estable, sin pérdidas considerables (**tabla 2.4** y **figura 2.15**).

Desde su inicio al pie del reservorio general, donde desemboca el canal de captación, el canal de Patadel recorre un tramo de 1.15 km hasta llegar a otro reservorio ubicado en Salocota y luego recorre 4.04 km más hasta su final en otro reservorio ubicado en Trancapata, como se puede ver en la **figura 2.16**, el reservorio de Salocota se encarga de guardar agua solamente para los 3 sectores que conforman la lista de

usuarios del canal de Patadel. Esta llegada y posterior salida del reservorio produce un cambio en el momento de realizar los aforos, ya que el agua sale del reservorio con otra velocidad y sección de canal, esto es necesario mencionar ya que sino no tendría una explicación lógica que el canal tenga un aumento de caudal en el segundo punto.

Tomando en cuenta el final del canal en el reservorio de Trancapata, debido a que este sector que se encuentra al final del sistema y alado de la parroquia Nabón cabecera cantonal, ya posee un pequeño sistema de riego por aspersión que nace desde su propio reservorio, y esto no es parte de los estudios realizados para este trabajo.

*Tabla 2.4 Aforos realizados en el canal de Patadel*

Puntos	Longitud (m)	Latitud (m)	Cota msnm	Caudal m/s	Caudal l/s
1	720536	9631958	3128	0,0336	33,68
2	718351	9631497	3038	0,0585	58,52
3	717736	9631527	3026	0,0478	47,75
4	716503	9631282	2959	0,0482	48,18

Figura: Autores

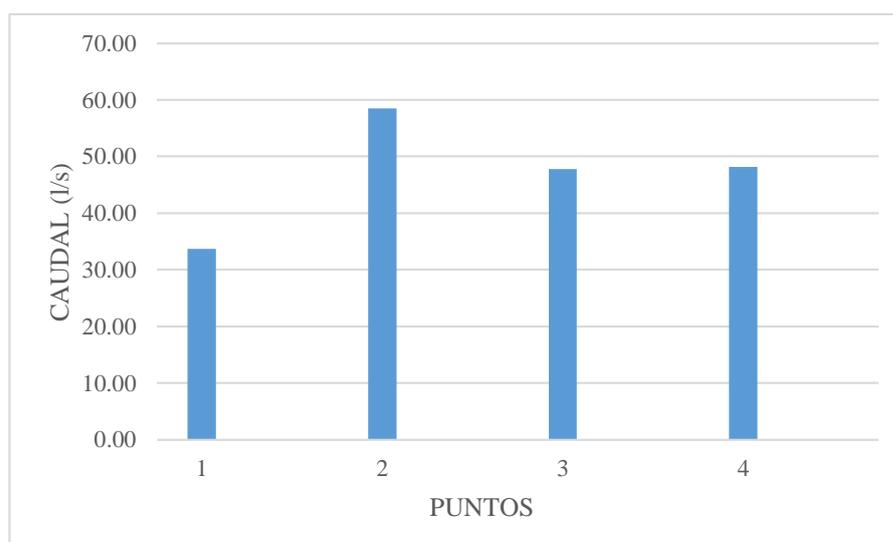


Figura 2.15 Caudales aforados en el canal de Patadel

Figura: Autores



Figura 2.16 Ubicación de los puntos de aforo en el canal de Patadel

Fuente: Autores

Las llaves de regulación de cada reservorio fueron abiertas en su totalidad para garantizar que el agua cruce de manera normal en cada fase de toda la trayectoria del canal y así conseguir datos reales. Aunque el canal funciona bien y se realizan trabajos de limpieza de manera periódica la estructura general del canal se encuentra deteriorada en algunas zonas y con alteraciones provocadas por algunos usuarios en otras lo que produce el riesgo de que en un futuro cercano este deje de cumplir su función.

Como resumen de pérdidas y ganancias de caudal (**tabla 2.5**), se tiene que para este canal las pérdidas son menores que las ganancias, y esto se debe gracias al reservorio de Salocota.

Tabla 2.5 Pérdidas o aumentos de caudal en el canal de Patadel

Punto	Caudal Inicial (l/s)	Caudal Final (l/s)	Perdida (l/s)	Aumento (l/s)
1 - 2	33,68	58,52	0	24,85
2 - 3	58,52	47,75	10,77	0
3 - 4	47,75	48,18	0	0,43
<b>TOTALES</b>			<b>11</b>	<b>25,28</b>

Fuente: Autores

En este caso los resultados permiten ver que la zona más alarmante se encuentra desde la mitad de Salocota hasta el comienzo de Patadel, ya que pierde 10.77 l/s.

### 2.1.5.3 Canal de Cruz

Para este canal de 5.74 km se procedió de igual manera a realizar los aforos tomando en cuenta la zona de inicio del canal, el comienzo de cada sector a los que abastece el sistema y al final del canal, dando como resultado 4 mediciones: la primera en el comienzo de Hermano Miguel, que es donde nace el canal junto al reservorio general, la segunda al final de Hermano Miguel e inicio de Cruz, la tercera al final de Cruz e inicio de Membrillo y la cuarta al final antes de llegar al reservorio de Membrillo.

En este canal se encontraron pérdidas considerables en todo sentido ya que el canal no está en buen estado.

Desde su inicio al pie del reservorio general, donde desemboca el canal de captación, el canal de Cruz recorre un tramo de 1.24 km hasta llegar a otro reservorio ubicado en Hermano Miguel y luego recorre 4.49 km más hasta otro reservorio ubicado en Membrillo, como se puede ver en la **figura 2.18**, el reservorio de Hermano Miguel se encarga de guardar agua solamente para los 3 sectores que conforman la lista de usuarios del canal de Cruz. De los 3 sectores, 2 (Membrillo y Cruz) pertenecen a nuestra zona de estudio y 1 (Hermano Miguel) le pertenece al otro grupo de evaluación, que realiza un trabajo igual, de manera simultánea.

Se toma en cuenta el final del canal en el reservorio de Membrillo, debido a que este se encuentra en una parte que está en estado crítico por una serie de hundimientos que sufrió el sector a causa de infiltración de agua en exceso, y por ese mismo motivo los predios ubicados después del reservorio ya no se riegan o lo hacen de manera manual y medida. Esto ha provocado grandes pérdidas económicas en los moradores, pues en algunos casos han perdido hasta su vivienda a más de la inversión puesta en sus predios destinados para la agricultura y ganadería por culpa de los hundimientos. Esta ola de sucesos, la infiltración de agua al suelo que aún tiene en toda su trayectoria y tomando en cuenta que en la parte superior de este canal en hermano miguel, no tiene una buena estructura y el agua hasta se desborda, provoca que sea el canal con más pérdidas en su caudal (**tabla 2.6 y figura 2.17**).

Tabla 2.6 Aforos realizados en el canal de La Cruz

Puntos	Longitud (m)	Latitud (m)	Cota msnm	Caudal m/s	Caudal l/s
1	720516	9631975	3128	0,0416	41,61
2	718726	9632675	3052	0,0433	43,32
3	717918	9632761	2996	0,0295	29,54
4	716716	9632828	2909	0,0136	13,63

Fuente: Autores

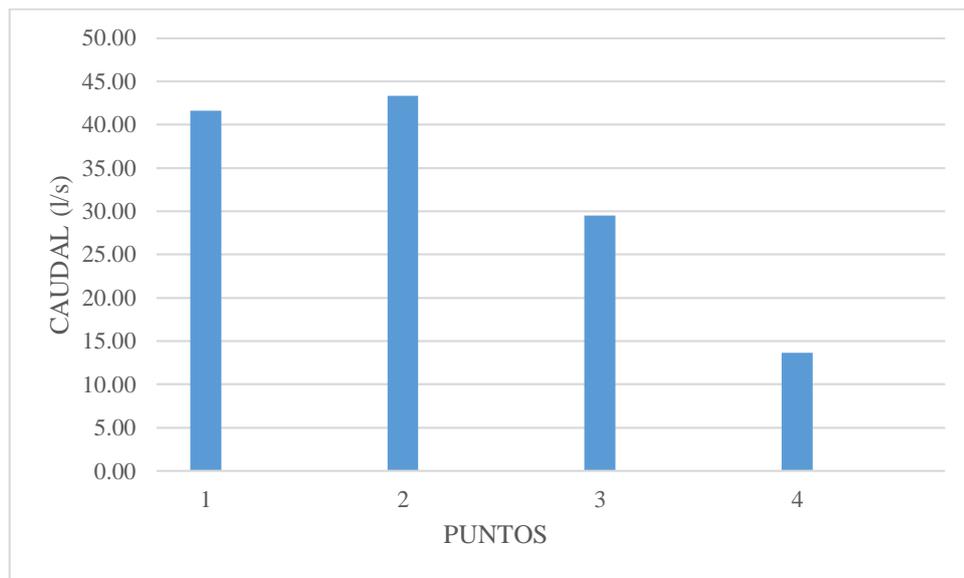


Figura 2.17 Caudales aforados en el canal de La Cruz

Fuente: Autores

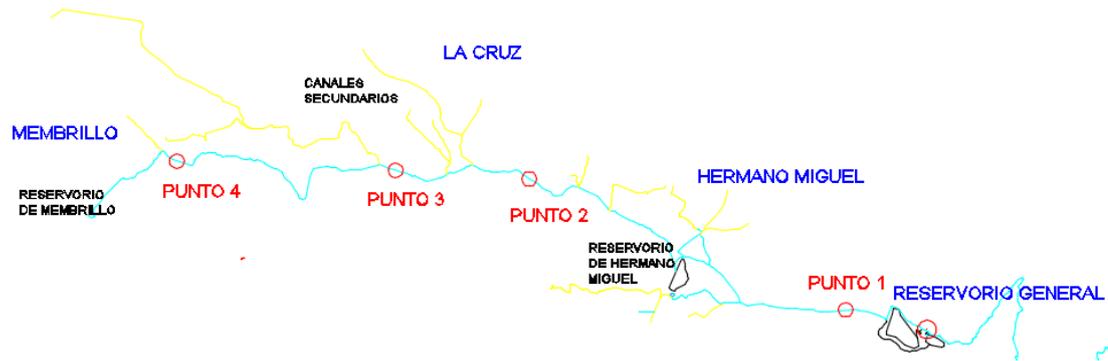


Figura 2.18 Ubicación de los puntos de aforo en el canal de La Cruz

Fuente: Autores

Las pérdidas (**tabla 2.7**) que se dan en este canal son visibles y afecta mucho a los moradores, ya que, este a su vez es el canal que a más usuarios sirve con 289 predios frente a los 192 predios a los cuales abastece el canal de Patadel.

Tabla 2.7 Pérdidas o aumentos de caudal en el canal de La Cruz

Punto	Caudal Inicial (l/s)	Caudal Final (l/s)	Perdida (l/s)	Aumento (l/s)
1 - 2	41,61	43,32	0	1,70
2 - 3	43,32	29,54	13,78	0
3 - 4	29,54	13,63	15,91	0
<b>TOTALES</b>			<b>30</b>	<b>1,70</b>

Fuente: Autores

Los sectores más críticos en este canal son los que corresponden a Cruz y Membrillo respectivamente, ya que desde donde se encuentra ubicada la junta de riego al comienzo de Cruz hasta llegar al reservoirio de Membrillo, es donde se da la mayor parte de pérdidas de caudal.

## 2.2 Autorizaciones de uso y aprovechamiento de agua

Para las autorizaciones de uso y aprovechamiento del agua en Ecuador rige como ente administrativo de este recurso la Secretaria del Agua - SENAGUA, esta entidad pública busca incrementar la recuperación, conservación y protección de las cuencas hidrográficas generadoras de agua, a través de un manejo integrado y sustentable. Para

ello tienen que dar su aprobación, antes de que cualquier otra entidad pública o privada quiera realizar cualquier tipo de trabajo con recursos hídricos.

Para este trabajo, en base a la demarcación hidrográfica en la cuenca del río Jubones hecha por un técnico de SENAGUA para este sistema de riego, se realizó una medición de caudales con las mismas características a todas las fuentes de aporte que llegan al canal para poder comparar los resultados y dar una mejor visión del actual sistema de riego.

### 2.2.1 Caudal Aforado

El caudal aforado ( $ca$ ), es el resultado de cada medición realizada a cada fuente de aporte para el canal para saber que volumen de agua llega al canal en determinado tiempo. Los aforos se los realiza mediante métodos volumétricos si son caudales pequeños o con otro aforador como el molinete en caso de que el caudal sea grande. La precisión en los resultados de un caudal depende de factores como: el cuidado puesto en las mediciones, el método empleado y la influencia del terreno.

El caudal aforado, según la metodología realizada por SENAGUA, viene a ser la cantidad total de agua que pasa por una sección transversal de la vertiente o quebrada en determinado tiempo, y de este caudal se desglosan los siguientes caudales que se toman en cuenta para el estudio.

### 2.2.2 Caudal de Estiaje

El caudal de estiaje ( $ce$ ), representa al caudal mínimo de agua que atraviesa al canal y que es calculado durante un periodo de tiempo dado en verano o por lo general en los meses donde la cantidad de agua es más baja. De este modo, para un año dado se puede hablar del caudal de estiaje diario y del caudal de estiaje mensual, es decir, la media de los caudales diarios del mes de estiaje.

Para este caso, acorde con la metodología dada por los datos de SENAGUA, se determinó al caudal de estiaje como la disminución del 10% del caudal aforado, como se puede ver en la **ecuación 2.10**:

$$ce = ca - \left( ca \times \frac{10}{100} \right) \quad (2.10)$$

Donde:

$ca$ = Caudal aforado (m<sup>3</sup>/s o l/s)

$ce$ = Caudal de estiaje (m<sup>3</sup>/s o l/s)

### 2.2.3 Caudal a Conceder

El caudal a conceder ( $cc$ ), es el caudal que la SENAGUA autoriza para que pueda ser utilizado en el sistema de riego u otro proyecto basado en fuentes hidrológicas. La sumatoria de todos estos caudales viene a ser la cantidad adjudicada para todo el sistema de riego. Es el 90% del caudal de estiaje, como se puede ver en la **ecuación 2.11**:

$$cc = ce \times 90\% \quad (2.11)$$

Donde:

$cc$ = Caudal a conceder (m<sup>3</sup>/s o l/s)

$ce$ = Caudal de estiaje (m<sup>3</sup>/s o l/s)

### 2.2.4 Caudal Ecológico

Este caudal es la cantidad de agua necesaria que debe existir para garantizar su funcionalidad eco sistémica. Es decir, es la cantidad de agua que debe fluir de manera inalterable para que la dinámica ecológica de un ecosistema se mantenga en equilibrio, tanto en composición y estructura de especies, como en condiciones hidrológicas, facilitando de esta manera la disponibilidad de condiciones físicas del hábitat para el adecuado crecimiento y desarrollo de las especies que dependen del cuerpo de agua para cumplir su ciclo vital (Arias, 2012).

De acuerdo con nuestra metodología el caudal ecológico viene a ser el 10% del caudal de estiaje, como se puede ver en la **ecuación 2.12**:

$$cv = ce \times 10\% \quad (2.12)$$

Donde:

$cv$ = Caudal Ecológico (m<sup>3</sup>/s o l/s)

$ce$ = Caudal de estiaje (m<sup>3</sup>/s o l/s)

### 2.2.5 Tabla de adjudicación de agua

La siguiente tabla muestra con gran claridad todos los procesos mencionados anteriormente. Está conformada por las 11 fuentes encontradas a lo largo del canal y con sus respectivas coordenadas UTM (wgs 84). El trabajo de aforar fue extenso debido a la complejidad de acceso hacia el canal y la distancia ya que tocó recorrer a pie; las fuentes están ubicadas en sectores determinados, estos son: Azhanga, Garo, Quillocachi, Piñan, Churuguayco y Artazana (**Tabla 2.8**).

*Tabla 2.8 Ubicación y caudales aforados de las fuentes naturales de agua*

Fuente	Latitud Norte (UTM)	Latitud Este (UTM)	Cota msnm	Caudal Aforado (l/s)	Caudal Estiaje (10%) l/s	Caudal Conceder (90%) l/s	Caudal Ecológico (10%) l/s
<b>Q. Azhanga</b>	9633986	726656	3317	28,91	26,02	23,42	2,61
<b>V. Azhanga</b>	9634096	726603	3290	5,1	4,59	4,13	0,46
<b>V. Azhanga</b>	9634127	726508	3296	3,86	3,47	3,13	0,35
<b>V. Azhanga</b>	9634101	726420	3295	1,27	1,14	1,03	0,11
<b>Q. Garo</b>	9634673	725535	3290	24,21	21,79	19,61	2,18
<b>V. Garo</b>	9634460	725356	3286	4,33	3,89	3,50	0,39
<b>V. Quillocachi</b>	9634277	724735	3272	1,78	1,60	1,44	0,16
<b>V. Quillocachi</b>	9634260	724534	3260	4,98	4,48	4,04	0,45
<b>V. Piñan</b>	9633724	723917	3141	0,71	0,64	0,58	0,06
<b>V. Churuguayco</b>	9633089	722812	3220	1,23	1,11	0,99	0,11
<b>V. Artazna</b>	9631822	721855	3153	0,47	0,42	0,39	0,04
<b>TOTAL</b>				<b>76,85</b>	<b>69,17</b>	<b>62,25</b>	<b>6,92</b>

Fuente: Datos de autores y metodología por parte de SENAGUA

### 2.2.6 Resultados

Como resultados para esta adjudicación de agua, y conforme a los aforos realizados en cada una de las vertientes disponibles a lo largo del canal; se obtuvo que los caudales para uso están dentro de rangos similares a los medidos por el técnico de SENAGUA. Es necesario remarcar que en un inicio existían más vertientes naturales, pero con el paso del tiempo un total de 5 vertientes se han secado, estas se encuentran en los sectores de Garo, Churuguayco, Artazana y Totoras. Pero conforme a las mediciones se obtuvo que:

*Caudal existente = 76.85 l/s*

*Caudal a conceder = 62.25 l/s*

*Caudal Ecologico = 6.92 l/s*

### CAPÍTULO 3 : EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO MEDIANTE LA ESTIMACION DEL BALANCE HIDRICO.

El sistema de riego se encuentra ubicado en la cabecera nororiental de la cuenca del río Jubones como se puede ver en la **figura 3.1**, y se dividió en 2 zonas para la evaluación: la zona de captación con una altura promedio de 3323 msnm y la zona de cultivos con una altura promedio de 2880 msnm.

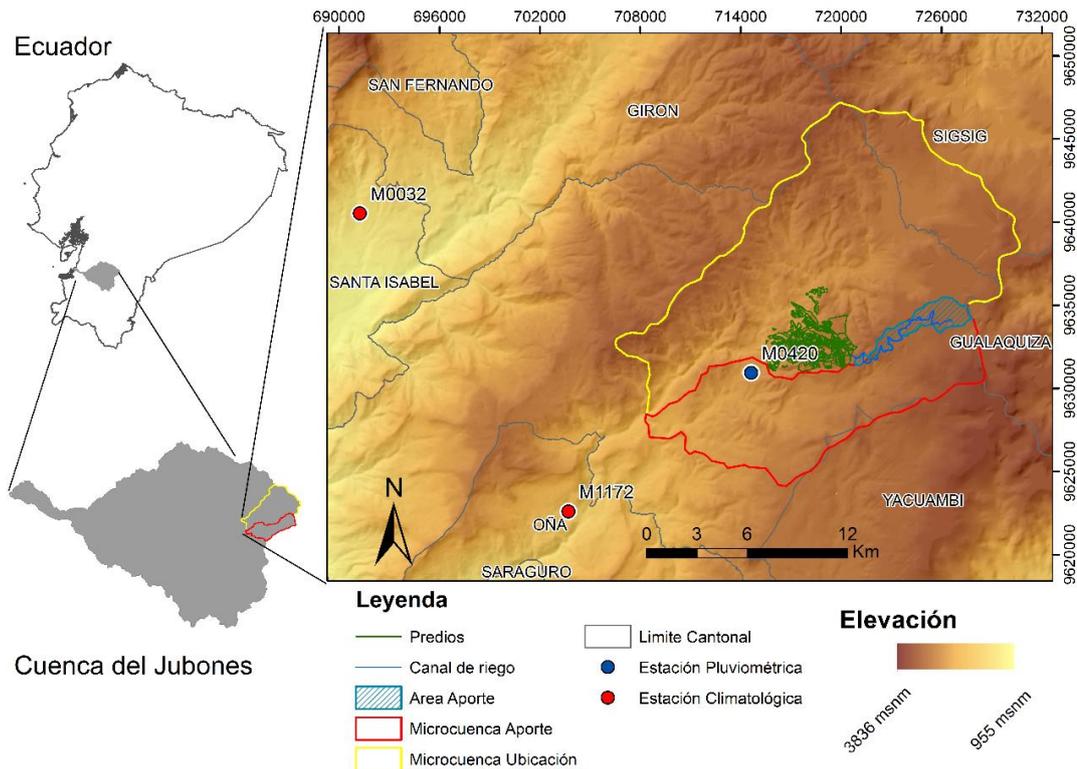


Figura 3.1 Ubicación de las estaciones climáticas utilizadas en la estimación del balance hídrico y áreas de estudio.

Fuente: Autores

El área de aporte que provee de recursos hídricos para la zona de captación del sistema es de aproximadamente 7.3 km<sup>2</sup>, y está cubierta en su mayor parte de páramo. Muy diferente a la zona de los cultivos, donde en su cobertura predominan los pastos o potreros (87.6%) y cultivos rotativos de maíz y papa/trigo (12.4%).

La precipitación promedio anual en la zona de captación es de 1220 mm (según datos INAMHI 2002-2011) y presenta un régimen trimodal con picos de lluvia en los meses de abril y junio y uno menos pronunciado en octubre mientras que el mes más seco es agosto. La precipitación en el área de riego presenta una estacionalidad más

marcada que en el área de captación con un régimen bimodal con un pico en el mes de abril y otro en noviembre mientras que el valor mínimo se registra en el mes de agosto, la precipitación promedio anual es 740 mm (según estación M0420, INAMHI), como se puede ver en la **figura 3.2**.

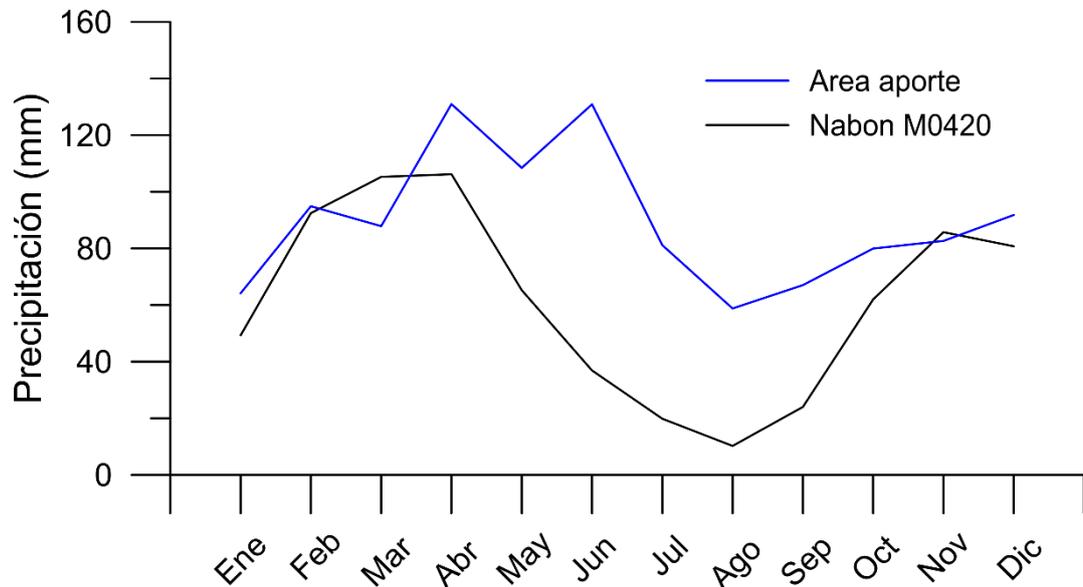


Figura 3.2 Precipitación promedio mensual (2002-2011) estimada (interpolación IDW) en el área de aporte y medida en el área de predios (estación M0420, INAMHI).

Fuente: Autores

Por pedido de fiscalización por parte del Gobierno Provincial del Azuay, para determinar la información necesaria en este capítulo que permita complementar la evaluación del sistema de riego, se decidió realizar un solo balance hídrico total y uniforme, donde se tomó en cuenta los 10 sectores existentes y se realizó en conjunto al otro grupo de estudio que se encarga de los 5 sectores restantes. Para ello fue necesario unir los datos de las encuestas y de la topografía con el fin de unificar toda la información recopilada del sistema total y obtener un solo balance hidrológico.

### 3.1 Balance Hídrico

Para el balance hídrico realizado en este trabajo, no fue posible contar con datos meteorológicos dentro del área de aporte de la cuenca, ya que; primero, no existe una estación pluviométrica o climatológica en toda la área de estudio; segundo, las estaciones más cercanas no contaban con la información suficiente y tenían vacíos

dentro de sus registros; y tercero, en otros casos como la estación de Jima y Nabón no estaban en funcionamiento desde hace algún tiempo, estas al ser las estaciones más cercanas a la zona de estudio complicaron con la recolección de datos necesarias para realizar el balance.

En vista de estos problemas se tomó la decisión junto con la ayuda del técnico responsable por parte del Gobierno Provincial del Azuay, en recurrir a las estaciones más cercanas de precipitación y temperatura disponibles y utilizar todos los datos que estén al alcance del presente estudio. Las estaciones utilizadas para este estudio fueron las siguientes (**Tabla 3.1 y 3.2**):

*Tabla 3.1 Código y ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas.*

<b>Nombre</b>	<b>Código</b>	<b>Este (UTM)</b>	<b>Norte (UTM)</b>	<b>Elevación (msnm)</b>
NABON (INAMHI)	M0420	714631	9630922	2750
OÑA (INAMHI)	M1172	703716	9622587	2051
SANTA ISABEL (INAMHI)	M0032	691245	9640518	1550
CUMBE (INAMHI)	M0418	720613	9658683	2720
GUALAQUIZA (INAMHI)	M0189	769119	9623702	851

Fuente: Autores

*Tabla 3.2 Tipo de estaciones meteorológicas utilizadas.*

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Variable</b>	<b>Período</b>
NABON (INAMHI)	Pluviométrica	Precipitación	2002-2011
OÑA (INAMHI)	Climatológica	Temperatura	2008
SANTA ISABEL (INAMHI)	Climatológica	Temperatura	2009-2011
CUMBE (INAMHI)	Pluviométrica	Precipitación	2002-2011
GUALAQUIZA (INAMHI)	Pluviométrica	Precipitación	2002-2011

Fuente: Autores

Para los datos de precipitación y por la falta de información, se optó por ocupar datos de las estaciones más cercanas al área de captación, Cumbe ubicada a 25 km de distancia y Gualaquiza a 43 km del área de captación, y se estimó la precipitación por medio del método de interpolación Inverse Distance Weight (IDW).

La zona de captación tiene un comportamiento diferente a la zona de cultivos, esto se da por la llegada de masas de aire húmedo provenientes de la Amazonía, por lo que la precipitación obtenida muestra un patrón estacional diferente al registrado en el resto de la provincia (Ballari *et. al*, 2018).

Para los datos de temperatura, al ser de estaciones localizadas a una altura de 1550 msnm (M0032) y 2051 msnm (M1172), diferentes a la altura promedio del área de captación que es 3323 msnm y del área de los predios que es 2880 msnm, las temperaturas fueron extrapolados por medio de la tasa de lapso de temperatura (Tlr) para una gradiente altitudinal en el sur del Ecuador como se lo puede ver en la **Tabla 3.3**. Los datos extrapolados de la temperatura promedio para los sitios de estudio se muestran en la **Figura 3.3** (Córdova *et. al*, 2016).

*Tabla 3.3 Tasa de lapso de temperatura (Tlr) máxima, mínima y media.*

Mes	Tlr max (°C/km)	Tlr min (°C/km)	Tlr m (°C/km)
Enero	9.15	6	7.24
Febrero	9.16	5.73	7.08
Marzo	8.55	5.6	6.56
Abril	8.48	5.37	6.62
Mayo	8.4	5.35	6.59
Junio	8.62	5.63	6.9
Julio	8.76	5.56	7
Agosto	8.78	5.7	7.22
Septiembre	8.76	5.3	7
Octubre	8.77	5.28	6.65
Noviembre	8.78	5.07	6.62
Diciembre	9.21	5.3	6.7

Fuente: (Córdova, y otros, 2016).

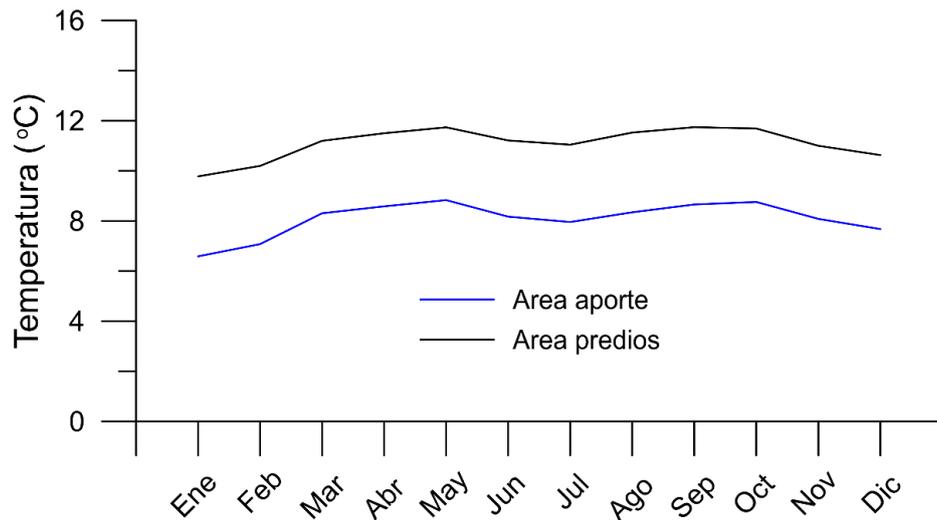


Figura 3.3 Temperatura promedio mensual (2008-2011) extrapolada para el área de aporte y predios.

Fuente: Autores

### 3.2 Caudal Disponible

El caudal disponible es la cantidad de agua recolectada por el canal que viene recibiendo aportes desde la zona de captación y que se dispone durante todo el trayecto del agua. Esto indicará la capacidad de riego que tiene el sistema mes a mes.

En este paso fue necesario realizar el cálculo del balance hídrico para calcular el caudal de salida del área de aporte en la zona de captación. Para esto se consideró que no hay el aporte de aguas subterráneas a la descarga, por lo que no existe un cambio relevante en el almacenamiento. , como se puede ver en la **ecuación 3.1**:

$$P = ET + Q \quad (3.1)$$

Dónde:

P = precipitación (mm)

ET = evapotranspiración (mm)

Q = caudal (mm)

Para obtener la evapotranspiración (ET) es necesario calcular la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y multiplicarla por un coeficiente de cultivo (k<sub>c</sub>) como se indica en la **ecuación 3.2**:

$$ET = ET_o \times K_c \quad (3.2)$$

Dónde:

$ET_o$  = evapotranspiración de referencia (mm)

$K_c$  = coeficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo ( $k_c$ ) para la zona de captación fue asumido como 0.87 en los meses menos húmedos y 0.93 en los meses más húmedos. Estos valores fueron actualizados en una zona de páramo cercana al área de estudio (Carrillo-Rojas *et. al*, 2019).

El método estandarizado a nivel mundial para el cálculo de la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) es el método de la FAO 56 Penman-Monteith. Pero este método requiere de datos que por lo general no están disponibles en estaciones pluviométricas, climatológicas o meteorológicas en Ecuador como: temperatura, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento.

Cuando no se tiene esta información se recomienda como alternativa el uso de la ecuación de Hargreaves-Samani para determinar la  $ET_o$  (Allen, 2006).

El método de Hargreaves-Samani ha sido evaluado en una región de páramo cercana al área de estudio y se podido demostrar que es más precisa en el cálculo de la  $ET_o$  que con el método de Penman-Monteith, cuando solo se utiliza la temperatura como dato (Córdova *et. al*, 2015).

La ecuación de Hargreaves-Samani se pude ver en la **ecuación 3.3**:

$$ET_o = 0.408 * 0.0023(T_m + 17.8)(T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})^{0.5} R_a \quad (3.3)$$

Donde:

$ET_o$ : evapotranspiración de referencia (mm/día)

$T_m$ : temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

$T_{max}$ : temperatura máxima del aire (°C)

$T_{min}$ : temperatura mínima del aire (°C)

$R_a$ : radiación extraterrestre (MJ/m<sup>2</sup>dia)

### Radiación extraterrestre para periodos diarios (Ra)

Es la cantidad de radiación solar que se recibe diariamente sobre una superficie horizontal, en este caso la zona de cultivos, pero situada en el límite superior de la atmósfera. , como se puede ver en la **ecuación 3.4** y sus complementos en las **ecuaciones 3.5 – 3.8**:

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega)] \quad (3.4)$$

Donde:

Ra: radiación extraterrestre (MJ/m<sup>2</sup> día)

G<sub>sc</sub>: constante solar = 0,082 MJ/m<sup>2</sup> min

d<sub>r</sub>: distancia relativa inversa Tierra-Sol,

ω<sub>s</sub>: ángulo de radiación a la puesta del sol (rad)

φ: latitud (rad)

δ: declinación solar (rad)

$$d_r = 1 + 0,033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (3.5)$$

$$\delta = 0,409 * \sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,39\right) \quad (3.6)$$

J: número del día en el año entre 1 (1 de enero) y 365 (31 de diciembre).

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan(\varphi)\tan(\delta)}{X^{0,5}}\right] \quad (3.7)$$

Donde

$$X = 1 - [\tan(\varphi)]^2 [\tan(\delta)]^2 \quad (3.8)$$

$$X = 0,00001 \text{ si } X \leq 0$$

Para el cálculo de la radiación extraterrestre las coordenadas consideradas fueron 2 puntos de relevancia, uno para la zona de cultivos y otro para la zona de captación:

- Punto central en la zona de los predios
- Inicio del canal de captación

Los valores diarios de la radiación extraterrestre fueron promediados mensualmente para poder calcular la evapotranspiración de referencia con los datos de temperatura mensual. Con el objetivo de mejorar las estimaciones de ETo, el valor resultante fue multiplicado por un coeficiente de corrección (0.8), (Pinos *et. al.*, 2018).

Al final para obtener el acumulado mensual de ETo, el valor de ETo diaria fue multiplicado por el número de días existentes en cada mes. El caudal mensual obtenido de la diferencia entre P y ET fue transformado a lt/s por día, como se puede ver en la **ecuación 3.9**:

$$Q (lt s^{-1}) = \frac{Q (mm mes^{-1}) \times Area de captación (m^2)}{24 \times n dias mes \times 3600s} \quad (3.9)$$

### 3.3 Caudal requerido

Este es el caudal necesario para abastecer toda la demanda de riego en los terrenos de cada sector. Representa el consumo de agua de los cultivos en los predios del sistema de riego e informa cuánta agua debería existir en el sistema de riego para cumplir con su objetivo completamente.

Este caudal se calculó en base a la evapotranspiración con los datos de temperatura promedio extrapolados a esta zona con ayuda del método de Hargreaves-Samani.

Los cultivos predominantes fueron identificados en los predios en base a las encuestas realizadas anteriormente y explicadas en el capítulo 1, se escogieron los 3 tipos de cultivos con más área de sembríos:

- Pasto: cultivado a lo largo del año.
- Maíz: cultivado desde octubre y cosechado desde mayo.
- Papa: cultivado desde junio y cosechado desde septiembre.

Los coeficientes de cultivo asumidos se muestran en la **Tabla 3.4**:

*Tabla 3.4 Coeficientes de cultivo utilizados para calcular la ET en los predios del sistema de riego.*

<b>Cultivo</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
Kc Pasto	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Kc Maíz	0.8	1.15	1.15	1.15	0.7	-	-	-	-	0.4	0.8	0.8
Kc Papa <sup>+</sup>	-	-	-	-	-	0.4	0.75	1.15	0.65	-	-	-

Fuente: (Allen, 2006)

El valor de evapotranspiración de cada cultivo fue calculado como se explicó en la sección anterior del caudal disponible, y este valor fue multiplicado por el área total de superficie de cada uno. Con esto se puede determinar el consumo de agua para cada sector de una manera más exacta y con el fin de que se pueda utilizar el agua de manera más responsable.

Después de todo este proceso se logró concluir con los valores que más interesan en este trabajo, estos son el caudal disponible y el necesario, con los cuales se logró hacer una comparación y diferencia para entender cómo está funcionando el sistema y que mejoras o cambios se pueden realizar para mejorar su rendimiento.

### **3.4 Resultados**

La evapotranspiración tiene un comportamiento diferente mes a mes, y a su vez este comportamiento es diferente en el área de captación de agua y en el área de los predios con cultivos, como se puede ver en la **figura 3.4**.

Con los valores de la evapotranspiración calculados se pudo determinar que el comportamiento de los pastos y del páramo son similares, mientras que de los cultivos: maíz y papa, muestran un comportamiento más estacional debido a los períodos de cosecha como de siembra.

El valor de evapotranspiración anual promedio en el área de aporte es 562 mm mientras que en los pastos y cultivos (maíz y papa) es de 826.01 y 795.55 mm, respectivamente.

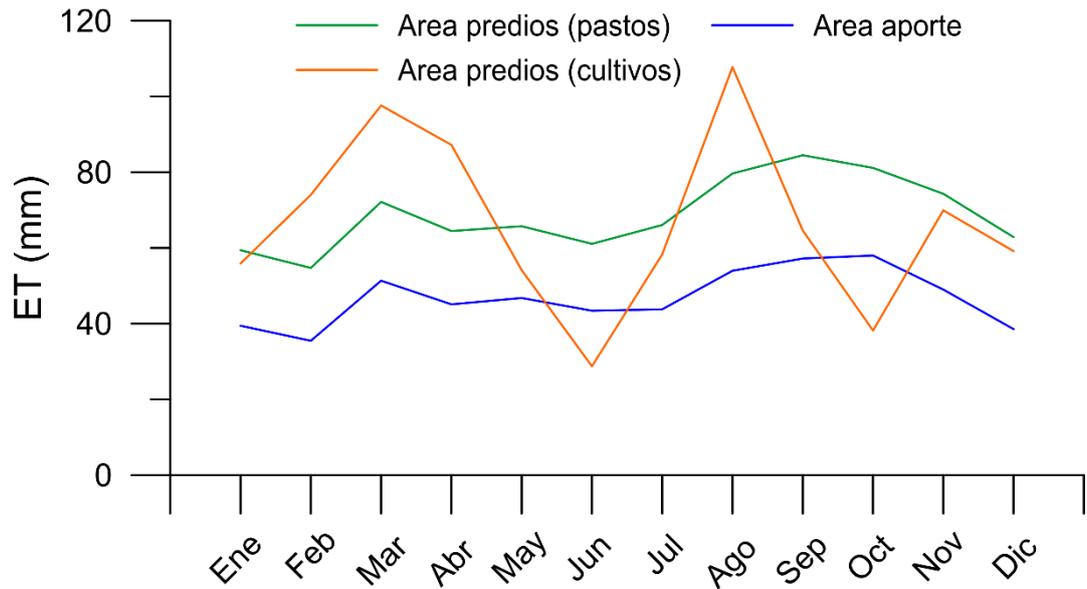


Figura 3.4 Evapotranspiración promedio mensual (2008-2011) en el área de aporte y predios.

Fuente: Autores

El balance hídrico se realizó con valores obtenidos durante el período 2002-2011 en la zona de captación. Algo que se notó de manera inmediata fue que en general existe suficiente agua a lo largo del año, aunque con una disminución en los meses de enero y desde agosto a noviembre, que en algunos años podría generar un déficit. Esto se muestra en la **Figura 3.5**.

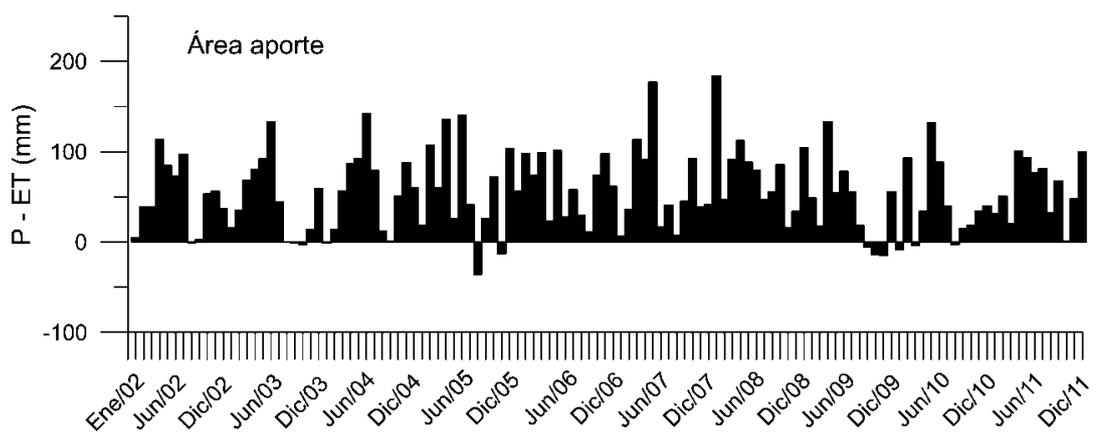


Figura 3.5 Balance hídrico (P-ET) en el área de aporte de agua del sistema de riego.

Fuente: Autores

De manera más detallada y viendo el comportamiento de cada uno de los diferentes tipos de cultivos tomados en cuenta de cada zona para el balance. En la zona de captación existe un incremento de agua en los meses de abril y junio en el área de captación mientras que este se reduce en los meses de agosto, septiembre y octubre como se ve en la **Figura 3.6a**. En la **Tabla 3.5** se presentan los valores del caudal promedio diario generado en el área de aporte.

*Tabla 3.5 Caudal promedio diario generado en el área de captación.*

Mes	Q (lt/s)
Enero	88.98
Febrero	204.42
Marzo	112.97
Abril	278.45
Mayo	218.48
Junio	309.19
Julio	153.50
Agosto	46.63
Septiembre	56.19
Octubre	87.58
Noviembre	111.09
Diciembre	170.44

Fuente: Autores

Para la zona de cultivos, el balance hídrico cambia entre las áreas analizadas como se puede ver en las **Figuras 3.6b y 3.6c**. Se observa que en general a lo largo del año existe un menor déficit de agua para riego en los cultivos de maíz y papa, mientras que el mayor déficit se da para las áreas de pasto; esto se da por la estacionalidad de los cultivos que no ocupan la misma cantidad de agua en todos los meses.

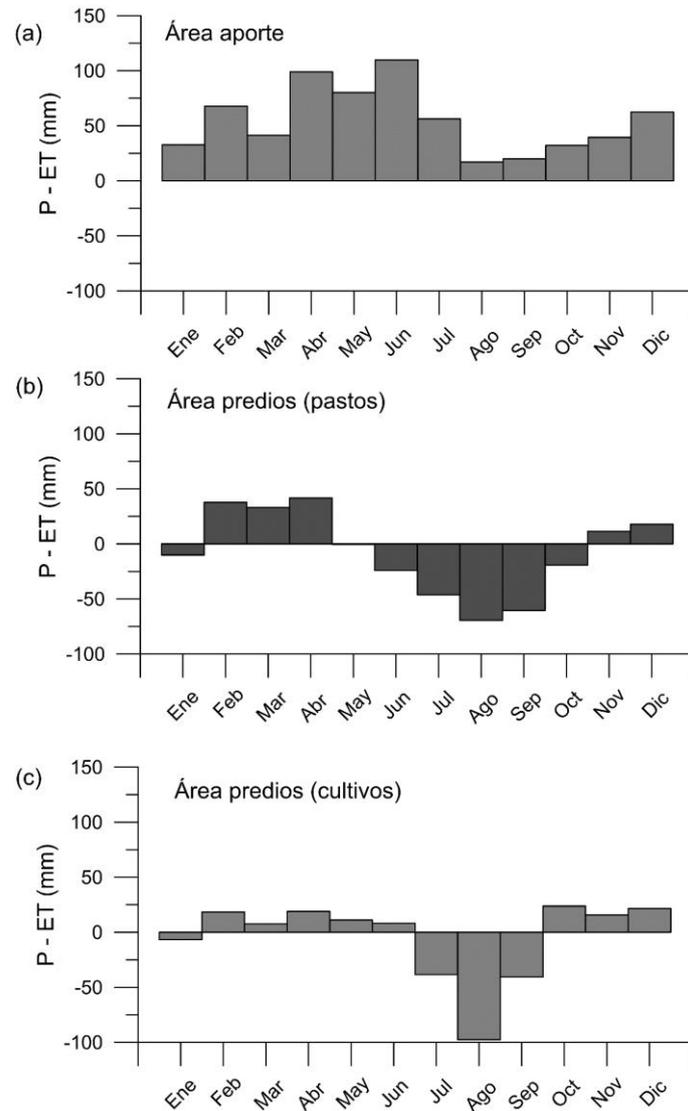


Figura 3.6 Balance hídrico (P-ET) en el área de captación y en los predios para los diferentes tipos de cobertura.

Fuente: Autores

El volumen total de agua disponible por la precipitación y el requerido por los cultivos y el pasto en el área de los predios se presenta en la **Tabla 3.6**.

Tabla 3.6 Volumen de agua disponible y requerido el sistema de riego.

Mes	Volumen	Volumen	Volumen	Volumen
	Disponibile	Disponibile	Requerido	Requerido
	Pastos	Cultivos	Pastos	Cultivos
	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)
<b>Enero</b>	399710.30	56635.30	481549.69	64217.59
<b>Febrero</b>	749720.31	106228.52	443619.89	85041.67
<b>Marzo</b>	853417.98	120921.53	584971.66	112138.72
<b>Abril</b>	861039.23	122001.39	522617.24	100185.41
<b>Mayo</b>	529109.42	74969.97	533018.47	62196.11
<b>Junio</b>	299093.57	42378.83	495212.75	33019.82
<b>Julio</b>	160857.05	22791.97	535574.69	66958.27
<b>Agosto</b>	82941.91	11752.11	645808.85	123801.17
<b>Septiembre</b>	194666.21	27582.42	684932.24	74213.67
<b>Octubre</b>	502597.19	71213.43	657818.83	43862.08
<b>Noviembre</b>	695155.40	98497.17	602409.81	80335.03
<b>Diciembre</b>	654697.91	92764.71	509559.11	67952.82

Fuente: Autores

En el área del sistema de riego existe un déficit del recurso hídrico en el mes de enero y entre los meses de junio y octubre, que no abastecen con la demanda total de agua de los cultivos y pastos, este déficit varía entre el 16 y 88% en estos meses como se puede ver en la **Tabla 3.7**.

Tabla 3.7 Cobertura de la demanda de agua de los cultivos en el área de cultivos

<b>Mes</b>	<b>Déficit/Exceso Pastos (%)</b>	<b>Déficit/Exceso Cultivos (%)</b>	<b>Déficit/Exceso Total (%)</b>
<b>Enero</b>	-17.00	-11.81	-16.38
<b>Febrero</b>	69.00	24.91	61.91
<b>Marzo</b>	45.89	7.83	39.77
<b>Abril</b>	64.76	21.78	57.84
<b>Mayo</b>	-0.73	20.54	1.49
<b>Junio</b>	-39.60	28.34	-35.36
<b>Julio</b>	-69.97	-65.96	-69.52
<b>Agosto</b>	-87.16	-90.51	-87.70
<b>Septiembre</b>	-71.58	-62.83	-70.72
<b>Octubre</b>	-23.60	62.36	-18.22
<b>Noviembre</b>	15.40	22.61	16.24
<b>Diciembre</b>	28.48	36.51	29.43

Fuente: Autores

Luego de todo el estudio realizado en base a los recursos hídricos que cubren al sistema de riego, se llegó a concluir con la búsqueda de caudales disponibles y requeridos a lo largo del año.

En esta parte es muy necesario mencionar que existen 2 tipos de áreas: la cultivada y la cultivable; la primera es la cantidad de hectáreas cultivadas actualmente, mientras que la segunda es la cantidad de hectáreas que se debería tener cultivado con un funcionamiento adecuado del sistema. La diferencia entre ambas muestran de manera directa que el problema más grande está en que los usuarios no pueden utilizar los terrenos destinados a agricultura y ganadería en su totalidad, ya que sus áreas de cultivos están limitadas, pues en algunos sectores no se logra utilizar ni el 50% de su capacidad como podemos ver en la **tabla 3.8**.

Tabla 3.8 Áreas cultivadas y cultivables de los sectores

Sector	Área cultivada (Ha)	Área Cultivable (Ha)	Porcentaje (%)
Trancapata	20,95	58,07	36,08
Patadel	26,67	56,81	46,95
Salocota	63,64	190,62	33,39
La Cruz	57,43	174,44	32,92
Membrillo	37,67	99,20	37,98
Lluchin	12,65	39,15	32,31
Villastan	32,26	71,68	45,00
Hermano Miguel	74,68	136,33	54,78
San José	32,26	53,27	60,55
Morasloma	26,23	46,09	56,92
<b>Total</b>	<b>384.43</b>	<b>925.25</b>	<b>41.53</b>

Fuente: Autores

Los caudales requeridos están hechos en base al área cultivable de cada sector pues la mejora del sistema se encamina a que tenga la capacidad de cubrir con todas las necesidades de los usuarios. Solo con el agua disponible en la zona de captación, los únicos meses que podrían tener agua suficiente para cumplir de manera teórica con su meta serían Abril y Junio; y de manera muy cercana Febrero y Mayo como se ve en la **tabla 3.9**.

Al tomar en cuenta los caudales que aportan las precipitaciones que se dan mensualmente en la zona de cultivos, el panorama cambia y la falta de agua disminuye de manera significativa.

En la **tabla 3.10 y 3.11** se puede observar de manera completa este cambio y se presenta un análisis completo del caudal requerido en cada mes donde se encontró un déficit de agua. Los datos que están en blanco representan a los valores de los meses donde el sistema teóricamente tiene la capacidad de cumplir al 100% con su servicio y tiene exceso de agua.

Tabla 3.9 Caudal disponible en la captación y caudal requerido en la zona de cultivos

Mes	Caudal Disponible Captación (l/s)	Caudal Requerido (l/s)	Déficit de Caudal(l/s)	Porcentaje Cubierto (%)
Enero	88,98	203,77	114,79	43,67
Febrero	204,42	218,53	14,11	93,54
Marzo	112,97	260,27	147,30	43,41
Abril	278,45	240,28	-	100,00
Mayo	218,48	222,23	3,75	98,31
Junio	309,19	203,79	-	100,00
Julio	153,50	224,96	71,46	68,24
Agosto	46,63	287,34	240,71	16,23
Septiembre	56,19	292,88	236,69	19,19
Octubre	87,58	261,98	174,40	33,43
Noviembre	111,09	263,40	152,31	42,18
Diciembre	170,44	215,62	45,18	79,05

Fuente: Autores

Tabla 3.10 Caudales disponibles y requeridos por área de cultivo

Mes	Caudal Disponible (lt/s)	Caudal Requerido Pastos (lt/s)	Caudal Requerido Cultivos (lt/s)	Caudal Requerido Total (lt/s)
Enero	88.98	30.56	2.83	33.39
Febrero	204.42	-	-	-
Marzo	112.97	-	-	-
Abril	278.45	-	-	-
Mayo	218.48	1.46	-	-
Junio	309.19	75.66	-	72.05
Julio	153.50	139.90	16.49	156.39
Agosto	46.63	210.15	41.83	251.98
Septiembre	56.19	189.15	17.99	207.14
Octubre	87.58	57.95	-	47.74
Noviembre	111.09	-	-	-
Diciembre	170.44	-	-	-

Fuente: Autores

*Tabla 3.11 Caudal disponible y caudal requerido en litros por segundo y por cada hectárea tomando en cuenta las precipitaciones de la zona de cultivos*

<b>Mes</b>	<b>Caudal Disponible (lt/s/ha)</b>	<b>Caudal Requerido Pastos (lt/s/ha)</b>	<b>Caudal Requerido Cultivos (lt/s/ha)</b>	<b>Caudal Requerido Total (lt/s/ha)</b>
<b>Enero</b>	0.10	0.038	0.025	0.036
<b>Febrero</b>	0.22	-	-	-
<b>Marzo</b>	0.12	-	-	-
<b>Abril</b>	0.30	-	-	-
<b>Mayo</b>	0.24	0.002	-	-
<b>Junio</b>	0.33	0.093	-	0.078
<b>Julio</b>	0.17	0.173	0.144	0.169
<b>Agosto</b>	0.05	0.259	0.364	0.272
<b>Septiembre</b>	0.06	0.233	0.157	0.224
<b>Octubre</b>	0.09	0.071	-	0.052
<b>Noviembre</b>	0.12	-	-	-
<b>Diciembre</b>	0.18	-	-	-

Fuente: Autores

## **CAPÍTULO 4 : DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA EXISTENTE**

Después de todos estos meses de trabajo entre recolección de información y análisis de datos, se puede concluir con el siguiente diagnóstico de del sistema de riego.

El sistema de riego Patadel sirve a 10 sectores de los cuales 5 fueron evaluados en este trabajo: Salocota, Patadel, Trancapata, La Cruz y Membrillo. Los 5 sectores tienen una población total de 585 habitantes, siendo Patadel y La Cruz los sectores más grandes con 179 y 174 habitantes respectivamente. Estos 5 sectores son atendidos por 2 canales; el primero, llamado canal de Patadel brinda este servicio a Salocota, Patadel y Trancapata; y el segundo, llamado canal de Cruz conduce el agua para Membrillo y La Cruz. Estos canales nacen desde un reservorio general, en este desemboca el canal principal de captación.

El agua que se recolecta en toda la zona de captación, viaja por el canal antes mencionado y tiene una longitud de 14.35 km desde su nacimiento hasta el reservorio general. El canal de Patadel mide 5.19 km de longitud, recorre 1.15 km hasta llegar a otro reservorio ubicado en Salocota y luego recorre 4.04 km más hasta su final en otro reservorio ubicado en Trancapata. El canal de La Cruz mide 5.74 km de longitud, recorre un tramo de 1.24 km hasta llegar a el reservorio ubicado en Hermano Miguel y luego recorre 4.49 km más hasta otro reservorio ubicado en Membrillo.

### **4.1 Habitantes y riego**

Mediante las encuestas realizadas el mes de octubre se logró determinar la cantidad de habitantes, la cantidad de usuarios empadronados por cada sector y el tipo de cultivo predominante.

En la junta de riego de Patadel llevan un registro de usuarios por sector, pero en algunos casos un usuario puede tener más predios en otros sectores; en estos casos solo puede constar su nombre en una sola lista (lista de usuarios, capítulo 1), y registrar todos sus predios ahí. Como resultado de estas encuestas se obtuvo los siguientes valores (**tablas 4.1 - 4.3**), requeridos para poder tener un control sobre todos los habitantes y usuarios que usan el sistema.

Tabla 4.1 Usuarios empadronados por sector.

<b>USUARIOS REGISTRADOS POR SECTOR</b>	
<b>TRANCAPATA</b>	25
<b>PATADEL</b>	51
<b>SALOCOTA</b>	20
<b>MEMBRILLO</b>	26
<b>LA CRUZ</b>	49

Fuente: Autores

Tabla 4.2 Resumen sobre la cantidad de predios, población y cultivos.

<b>SECTOR</b>	<b>CANTIDAD DE PREDIOS</b>	<b>TERRENO CULTIVADO (Ha)</b>	<b>CULTIVO PREDOMINANTE (Ha)</b>	<b>POBLACION (Hab)</b>	<b>AREA TOTAL (Ha)</b>
<b>TRANCAPATA</b>	23	20,95	8,7 MAIZ	73	58,07
<b>PATADEL</b>	118	26,67	14,82 MAIZ	179	56,81
<b>SALOCOTA</b>	51	63,64	48,9 POTRERO	85	190,62
<b>LA CRUZ</b>	101	57,43	24,4 POTRERO	174	174,44
<b>MEMBRILLO</b>	42	37,67	24,91 POTRERO	74	99,20
<b>TOTAL</b>	<b>335</b>	<b>206,37</b>		<b>585</b>	<b>579,14</b>

Fuente: Autores

Tabla 4.3 Área cultivada vs. Área cultivable en cada sector y con porcentajes.

<b>SECTOR</b>	<b>Área cultivada (Ha)</b>	<b>Área Cultivable (Ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>PATADEL</b>	26,67	56,81	46,95
<b>SALOCOTA</b>	63,64	190,62	33,39
<b>LA CRUZ</b>	57,43	174,44	32,92
<b>MEMBRILLO</b>	37,67	99,20	37,98
<b>TRANCAPATA</b>	20,95	58,07	36,08
<b>TOTAL</b>	206,37	579,14	35,63

Fuente: Autores

El resumen presentado por las tablas anteriores refleja que existe un problema común al no poder mejorar el rendimiento del predio de cada usuario. Y esto por comentarios de todos los usuarios se debe a la falta de agua. Para comprobar esta hipótesis se analizaron todos los factores que alteran los recursos hídricos.

## 4.2 Recursos hídricos

Para poder realizar la evaluación en torno a los recursos hídricos del sistema de riego realizamos 3 tipos de acciones; primero, aforando cada canal principal del sistema; segundo, realizando una comparación con las adjudicaciones de agua aprobadas por SENAGUA; y tercero, realizando un balance hídrico para conocer que caudal puede recorrer durante cada mes por el sistema y al mismo tiempo saber que caudal es el requerido por toda la zona cultivable y saber si el sistema tiene la capacidad o no.

### Caudales aforados

Los aforos realizados en cada uno de los canales principales (Captación, Patadel y Cruz), dio una primera idea del funcionamiento del sistema. Al hacerlo por tramos en cada canal se pudo comprender que pasa durante todo el recorrido que realiza el agua.

### Canal principal de captación

Se pudo encontrar que lo que más afecta al canal de captación son las filtraciones o fugas de agua se dan por fisuras en el canal y por robo de agua por gente ajena al sistema. Introducen mangueras o provocan cortes en las paredes del canal para que el agua salga de su cauce y entre a los terrenos de ellos, como se puede ver en las **figuras 4.1 y 4.2**



Figura 4.1 Fuga de agua en el canal de captación

Fuente: Autores



Figura 4.2 Corte en la pared del canal para desviar el caudal

Fuente: Autores

Aunque el agua si llega a su destino en el reservorio principal, las pérdidas que se provocan por estos motivos afectan en los meses donde se necesita más agua en los predios. Se pudo registrar que por cada tramo aforado se perdía entre un 10% y 43% del caudal por estos motivos, pero gracias a los aportes de agua de las diferentes quebradas y vertientes que se encuentran en el trayecto del canal el caudal no disminuye por completo y se recupera para llegar al reservorio general.

### **Canales de Patadel**

El problema que más afecta al canal de Patadel es la falta de control en los ingresos de agua a los diferentes predios, principalmente en el sector de Salocota y en segundo lugar Patadel. A lo largo del canal según los aforos realizados se registró una pérdida del 11% del caudal desde el inicio hasta el fin. El reservorio que sirve solo para este canal es una ayuda muy grande al momento de la distribución, pues el agua sale con un caudal diferente y mejor regulado que el inicial.

Entre los problemas encontrados, destacan: una piedra grande, ramas de árboles, talegos y en algunos casos lodo, son los únicos bloqueos que se utiliza en cada entrada para tratar de evitar que el agua entre a sus terrenos en los días que no les corresponde el uso del canal (**figura 4.3**). Esto no es suficiente y las filtraciones de agua son continuas todos los días e incluso en temporadas cuando el caudal del canal esta alto, este se desborda en estos puntos e inunda algunas entradas de los predios.

A demás se debe realizar un control en la cantidad de ingresos de agua a cada predio y dar accesos según el tamaño del terreno y no por petición de los dueños, ya que en algunos casos un usuario tiene solo un acceso de agua y en otros casos el usuario tiene

4 o 5 accesos, llegando incluso al caso más extremo donde un solo usuario al final de Salocota tiene 14 ingresos de agua a lo largo del canal principal para un solo terreno. Una mejora en este sentido reduciría el desperdicio de agua.



Figura 4.3 Entradas de agua mal tapadas que provocan pérdidas

Fuente: Autores

Otro factor que afecta en la falta de agua es que algunos usuarios de manera ilegal continúan cogiendo agua en los días que no les corresponde y aunque esto es multado por la junta de riego, en algunos lugares ponen mangueras para tratar de despistar al momento de que los encargados de la junta realizan el control.

### **Canal de la Cruz**

Aunque en este canal se presenta exactamente el mismo problema con el control de los accesos de agua hacia los predios presentados en el canal de Patadel, este canal presenta las pérdidas más grandes registradas con el 30% de pérdidas en el caudal desde su inicio hasta llegar al final en reservorio de Membrillo. Esto se debe a las filtraciones interiores no visibles, que provocan una gran pérdida de agua. En el tramo del canal que pasa por el sector de La Cruz se registra una pérdida en el caudal del 13.78%, mientras que en el tramo de Membrillo este aumenta a un 15.91%.

Estas pérdidas son alarmantes ya que estas zonas son propensas a hundimientos y derrumbes a causa del exceso de agua que satura al suelo y lo debilita. En membrillo ya hubo una muestra de esta catástrofe que provocó pérdidas materiales muy grandes a los usuarios afectados por los hundimientos de sus terrenos.

### **Caudales adjudicados**

Para el análisis de los caudales adjudicados se tuvo que realizar una comparación entre los caudales adjudicados por el SENAGUA y los medidos en este trabajo. Para obtener estos resultados fue necesario aforar cada aporte de agua que llegaba al canal de captación mediante quebradas o vertientes naturales (**figura 4.4**). Se contabilizaron 11 aportes de agua a lo largo del canal, el sector de Azhanga fue registrado como el más favorable ya que cuenta con 4 de los 11 aportes y es el tramo donde más aumenta el caudal del canal.

Al caudal aforado se lo dividió en: Caudal de estiaje, caudal a conceder y caudal ecológico. Esto ayuda a controlar los recursos hídricos obteniendo los beneficios esperados para el beneficio de la población y sin afectar la flora y fauna que rodean toda la zona de captación.

Como resultados de esta comparación se obtuvo que por parte del SENAGUA, los valores obtenidos son:

Caudal aforado: 74.95 l/s  
Caudal de estiaje: 67.44 l/s  
Caudal concedido: 60.70 l/s  
Caudal ecológico: 6.74 l/s

Mientras que los resultados obtenidos en la medición dio como resultado:

Caudal aforado: 76.85 l/s  
Caudal de estiaje: 69.17 l/s  
Caudal concedido: 62.25 l/s  
Caudal ecológico: 6.92 l/s

Los caudales varían por 2 l/s en general, por lo que se puede afirmar que la adjudicación es aceptable y que depende también de la temporada del año, ya que en otros meses estos valores aumentan. Los registros fueron tomados en el mes de septiembre.



Figura 4.4 Aporte de agua #5 en el sector de Garo

Fuente: Autores

### **Caudales del Balance Hidrológico**

Este último recurso es el más importante, con estos resultados se pueden saber si el sistema puede proveer de la cantidad adecuada de agua para su riego y además medir los valores necesarios de agua que necesita el sistema en cada mes según el estado de los cultivos.

Para ello fue necesario realizar un análisis de las precipitaciones y temperaturas presentadas en un tiempo definido, tanto en la zona de captación como en la zona de cultivos. Para saber la cantidad de agua que un cultivo necesita se realizó el análisis de evapotranspiración; para ello se calculó el área total cultivable en todas las zonas del sistema, y se dividió según el cultivo predominante en cada sector. Los cultivos predominantes fueron 3: Los pastos o potreros, el maíz y la papa.

Los resultados que se obtuvieron en torno a lo que puede recolectar mensualmente en la zona de captación (**tabla 4.4**) y lo que se necesita mensualmente para poder abastecer las necesidades de riego de todas las zonas fueron los siguientes:

*Tabla 4.4 Caudal disponible de la captación y caudal requerido por los predios.*

<b>Mes</b>	<b>Caudal Disponible Captación (l/s)</b>	<b>Caudal Requerido (l/s)</b>
<b>Enero</b>	88,98	203,77
<b>Febrero</b>	204,42	218,53
<b>Marzo</b>	112,97	260,27
<b>Abril</b>	278,45	240,28
<b>Mayo</b>	218,48	222,23
<b>Junio</b>	309,19	203,79
<b>Julio</b>	153,50	224,96
<b>Agosto</b>	46,63	287,34
<b>Septiembre</b>	56,19	292,88
<b>Octubre</b>	87,58	261,98
<b>Noviembre</b>	111,09	263,40
<b>Diciembre</b>	170,44	215,62

Fuente: Autores

Los valores representados por el caudal requerido total se los pueden dividir por sector según el área, cantidad y tipo de cultivo que tiene cada uno. Para explicar la necesidad de cada sector en el área de estudio se detallan en la **tabla 4.5**.

*Tabla 4.5 Caudal disponible de la captación y caudales requeridos mensualmente por cada sector.*

Mes	Caudal Disponible (l/s)	Trancapata (l/s)	Patadel (l/s)	Salocota (l/s)	Cruz (l/s)	Membrillo (l/s)
<b>Enero</b>	<b>88,98</b>	12,25	11,99	40,22	36,81	20,93
<b>Febrero</b>	<b>204,42</b>	13,14	12,86	43,14	39,48	22,45
<b>Marzo</b>	<b>112,97</b>	15,65	15,31	51,38	47,02	26,74
<b>Abril</b>	<b>278,45</b>	14,45	14,14	47,43	43,41	24,68
<b>Mayo</b>	<b>218,48</b>	13,36	13,07	43,87	40,14	22,83
<b>Junio</b>	<b>309,19</b>	12,26	11,99	40,23	36,81	20,94
<b>Julio</b>	<b>153,50</b>	13,53	13,23	44,41	40,64	23,11
<b>Agosto</b>	<b>46,63</b>	17,28	16,90	56,72	51,91	29,52
<b>Septiembre</b>	<b>56,19</b>	17,61	17,23	57,81	52,91	30,09
<b>Octubre</b>	<b>87,58</b>	15,75	15,41	51,71	47,32	26,91
<b>Noviembre</b>	<b>111,09</b>	15,84	15,50	52,00	47,58	27,06
<b>Diciembre</b>	<b>170,44</b>	12,97	12,69	42,56	38,95	22,15
<b>Áreas de cada sector</b>		<b>58,07</b>	<b>56,81</b>	<b>190,62</b>	<b>174,44</b>	<b>99,2</b>
<b>Área total</b>				<b>965,65</b>		

Fuente: Autores

Al momento de tomar en cuenta a los 5 sectores restantes que pertenecen al sistema de riego la demanda aumenta y el déficit se incrementa en todos los cultivos, pero con las precipitaciones que obtenemos en la zona de los cultivos este déficit disminuye considerablemente a lo largo del año como se observa en la **tabla 4.6**.

*Tabla 4.6 Caudales disponibles y requeridos por área de cultivo tomando en cuenta las precipitaciones de la zona de cultivos.*

<b>Mes</b>	<b>Caudal Disponible (lt/s)</b>	<b>Caudal Requerido Total (lt/s)</b>	<b>Caudal Requerido Total (lt/s/ha)</b>
<b>Enero</b>	88.98	33.39	0.036
<b>Febrero</b>	204.42	-	-
<b>Marzo</b>	112.97	-	-
<b>Abril</b>	278.45	-	-
<b>Mayo</b>	218.48	-	-
<b>Junio</b>	309.19	72.05	0.078
<b>Julio</b>	153.50	156.39	0.169
<b>Agosto</b>	46.63	251.98	0.272
<b>Septiembre</b>	56.19	207.14	0.224
<b>Octubre</b>	87.58	47.74	0.052
<b>Noviembre</b>	111.09	-	-
<b>Diciembre</b>	170.44	-	-

Fuente: Autores

### **4.3 Tabla de fallas en los canales**

Las fallas más relevantes encontradas en los canales principales fueron recolectadas para exponerlas como muestra de las necesidades que tiene el canal para su mejora:

<b>CANAL PRINCIPAL</b>	
<b>Derrumbe</b>	
<b>Latitud</b>	9633995
<b>Longitud</b>	726164
<b>Cota</b>	3323 msnm
<b>Descripción</b>	Se produjo un gran derrumbe en este punto y el canal fue regenerado de una manera no adecuada, esto provoca que el canal se encuentre inestable, con fisuras y con riesgo de falla.
<b>1</b>	
<b>Imagen</b>	
<b>Derrumbe</b>	
<b>Latitud</b>	9634045
<b>Longitud</b>	725394
<b>Cota</b>	3296 msnm
<b>Descripción</b>	Es un desprendimiento que no para, esto provoca que cada vez que llueve mucho caiga y el canal se desborde o se bloquee. La altura del canal es mínima, debido a los múltiples derrumbes y limpiezas rápidas.
<b>2</b>	
<b>Imagen</b>	

<b>Rotura en la pared del canal</b>		
	<b>Latitud</b>	9633437
	<b>Longitud</b>	723445
	<b>Cota</b>	3240 msnm
	<b>Descripción</b>	Se encuentra una rotura grande en el canal que produce que el agua se escape por ahí constantemente.
<b>3</b>	<b>Imagen</b>	
<b>Desborde</b>		
	<b>Latitud</b>	9631583
	<b>Longitud</b>	721317
	<b>Cota</b>	3151 msnm
	<b>Descripción</b>	Es el cruce de una carretera privada, el relleno y las excavaciones hicieron que el agua salga y se estanque hasta que pueda continuar pasando por el canal que continua más adelante con sección más pequeña, esto provoca pérdida de velocidad, presión y que cuando el caudal aumenta se desborde.
<b>4</b>	<b>Imagen</b>	

<b>Erosión</b>		
	<b>Latitud</b>	9631659
	<b>Longitud</b>	720987
	<b>Cota</b>	3121 msnm
	<b>Descripción</b>	La erosión producida por el paso del agua produce que exista suelo frágil que en cualquier momento puede desprenderse y obstruir el canal.
5	<b>Imagen</b>	
<b>Desprendimiento</b>		
	<b>Latitud</b>	9633085
	<b>Longitud</b>	722798
	<b>Cota</b>	3189 msnm
	<b>Descripción</b>	Debido a la erosión y deslizamiento de material en el talud, se formaron surcos y afectan la estabilidad del talud sobre el canal.
6	<b>Imagen</b>	

<b>Canal flotante</b>		
	<b>Latitud</b>	9631761
	<b>Longitud</b>	721798
	<b>Cota</b>	3176 msnm
	<b>Descripción</b>	En este punto se presentó un derrumbe importante del talud, esto provocó la pérdida total de la canal, para solucionar el problema se construyó un canal de hormigón.
7	<b>Imagen</b>	
<b>Desprendimiento</b>		
	<b>Latitud</b>	9632337
	<b>Longitud</b>	723031
	<b>Cota</b>	3210 msnm
	<b>Descripción</b>	En este punto se identificó una fuerte erosión del talud con desprendimiento de material que llega a la canal.
8	<b>Imagen</b>	

<b>CANAL DE PATADEL</b>	
<b>Falta de control en divisiones</b>	
<b>Latitud</b>	9631584
<b>Longitud</b>	718968
<b>Cota</b>	3057 msnm
<b>Descripción</b>	Los divisores de canal no tienen sus compuertas o tapas, lo que provoca que el agua se escape constantemente por esos canales aunque no sea su día de turno.
<b>1</b>	
<b>Imagen</b>	
<b>Entradas de agua</b>	
<b>Latitud</b>	9631557
<b>Longitud</b>	718531
<b>Cota</b>	3038 msnm
<b>Descripción</b>	Entrada de agua para un predio tapada solo con un talego y piedras. Esto provoca que el agua constantemente se filtre a este predio y pierda caudal el canal principal.
	

Desvío de caudal	
<b>Latitud</b>	9631526
<b>Longitud</b>	717731
<b>Cota</b>	3010 msnm
<b>Descripción</b>	Antes de la primera división del canal para aporte de agua al sector de Patadel. Se encuentra un desvío que provoca que el caudal se desborde, y pierda gran cantidad de agua afectando a los usuarios.
<b>Imagen</b>	 <p>The image block contains two photographs. The left photograph shows a close-up of a canal structure with a red metal gate and a red wheel mechanism. The right photograph shows a wider view of the canal structure in a rural, hilly landscape with trees and a clear sky.</p>

### Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo son muy claras, y son el resultado de todo el análisis realizado en el sistema más el diagnóstico antes mencionado.

En primer lugar, se puede asegurar de que el sistema si puede tener el recurso hídrico suficiente para abastecer todas las necesidades de los cultivos. Es decir, que, según el balance hídrico realizado, se concluye con que en la zona si se puede llegar a recolectar la cantidad suficiente de agua. Además, los aforos y adjudicaciones realizadas corroboran con los datos obtenidos para justificar esta respuesta. Par ello se requiere un mejor control en la distribución de los canales, que sea más técnico y corregir los problemas más graves en la parte física de los canales.

Luego, las pérdidas más importantes de agua se dan por motivos físicos del canal, causados por el tiempo que desgasta sus paredes y provoca filtraciones como es en el caso del canal de la Cruz, y en muchos casos por personas que alteran su estructura realizando cortes o perforaciones para desviar el caudal y usar a s conveniencia, como

es el caso general de los 3 canales estudiados. A esto se le suma el poco mantenimiento que se realiza en el mismo, la cantidad de años en funcionamiento y las múltiples reconstrucciones que se le han realizado en varios de sus tramos.

Se debe arreglar todos los problemas de filtración encontrados en los tramos del canal que comprenden los sectores de La Cruz y Membrillo. Un 30% del caudal total que circula por este canal se infiltra en el suelo diariamente y este por su saturación desfoga en algunas zonas donde por la pendiente del talud que contiene al canal y la vía que conecta estas 2 zonas se encuentra más alto que la zona de cultivos. Este problema es un tema peligroso ya que puede desencadenar en nuevos hundimientos y derrumbes como los que ya se registraron en Membrillo en el 2017. Y aunque en noviembre se realizó la entrega de 2 reservorios rehabilitados para la zona de Membrillo, esto no es suficiente para mejorar las necesidades de los usuarios si no se realizan las mejoras para el canal.

Se puede asegurar que el sistema se encuentra a disposición de 171 usuarios ubicados entre Trancapata, Patadel, Salocota, La Cruz y Membrillo. Además, que para estas zonas la población total es de 585 habitantes, de los cuales 279 son hombres y 306 son mujeres.

El sistema está compuesto por un canal principal de captación con una longitud de 14.3 km y además recibe el aporte de 11 fuentes de agua natural a lo largo de su trayecto; después llega a un reservorio general dividido en 2 depósitos de agua de 9000 m<sup>3</sup> cada uno, del cual nacen los 3 canales (Patadel, Cruz y Morasloma), que conducen el agua a todos los predios que conforman el sistema, y que a su vez mantienen con agua sus 3 reservorios independientes para cada canal de 6000 m<sup>3</sup> cada uno; los canales que forman parte de nuestro estudio son el de Patadel y el de La Cruz con 5.19 y 5.74 km de longitud respectivamente.

El área total cultivada actualmente es de 384.43 hectáreas, y el área que podría ser cultivada con las mejoras en el canal asciende a 925.65 hectáreas.

### **Recomendaciones**

Se recomienda que la primera mejora que se realice en el sistema sea la implementación de tuberías presurizadas y válvulas; con el fin de no tener pérdidas en los canales, evitar los robos durante cada trayecto que realiza cada tubería, tecnificar y distribuir de manera correcta los caudales hacia cada sector dependiendo su tamaño y cantidad de usuarios que necesitan de este servicio y que cada usuario disponga de su propia entrada de agua controlada por una válvula que sea abierta solo en sus días de riego. Esto además facilitará la implementación de un sistema de riego por aspersión prevista para un futuro.

Otro punto muy importante es la acumulación de datos en la zona, ya que para el balance hídrico tuvimos varios problemas por el hecho de que las estaciones más cercanas no estaban activas o tenían información muy limitada, por lo que tuvimos que utilizar el método de interpolación “Inverse Distance Weight”, para estimar los valores de precipitaciones en la zona de captación y la de cultivos. Se recomienda solicitar la activación de las estaciones más cercanas que son las de Jima y Nabón, o colocar una en el área de estudio para poder contar con datos mucho más exactos.

Por último, se recomienda que los valores de riego calculados que corresponden a la cantidad de litros por segundo que necesita cada hectárea de terreno según su mes, sean utilizados. De manera que se logre una mejor distribución de caudales según la demanda de cada sector, evitando así los desperdicios y los posibles déficits.

### Bibliografía

- Allen, R. G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. (Vol. 56). Food & Agriculture Org..
- Alocén, J. C. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Honduras: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Arias, V. (2012). *Los caudales ecológicos en el Ecuador: análisis institucional y legal*. Quito: Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental.
- Ballari, D., Giraldo, R., Campozano, L., & Samaniego, E. (2018). Spatial functional data analysis for regionalizing precipitation seasonality and intensity in a sparsely monitored region: Unveiling the spatio-temporal dependencies of precipitation in Ecuador. *Internacional Journal of Climatology*, 38(8), 3337-3354.
- Carrillo-Rojas, G., Silva, B., Rollenbeck, R., Célleri, R., & Bendix, J. (2019). The breathing of the Andean highlands: Net ecosystem exchange and evapotranspiration over the páramo of southern Ecuador. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265, 30-47.
- Chacón, N. (2010). *Elaboración de material didáctico para curso on-line: topografía elemental y topografía aplicada*. Loja.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Córdova, M., Carrillo-Rojas, G., Crespo, P., Wilcox, B., & Célleri, R. (2015). Evaluation of the Penman-Monteith (FAO 56 PM) method for calculating reference evapotranspiration using limited data: application to the Wet Páramo of Southern Ecuador. *Mountain Research and Development*, 35(3), 230-239.
- Córdova, M., Célleri, R., Shellito, C., Orellana-Alvear, J., Abril, A., & Carrillo-Rojas, G. (2016). Near-Surface Air Temperature Lapse Rate Over Complex Terrain in the Southern Ecuadorian Andes: Implications for Temperature Mapping. *Artic, Antartic, and Alpine Research*, 48(4), 673-684.
- FAO. (1996). *Encuestas agrícolas con múltiples marcos de muestreo*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO, O. d. (1997). *Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía*. Roma.

- Garmin, L. (Julio de 2007). Manual de Usuario: eTrex H Navegador Personal. Olathe, Kansas, EE.UU.
- Hunt, R. C. (2009). *Sistemas de riego por canales: tamaño del sistema y estructura de la autoridad*. Aventuras con el agua La, 47.
- Montero, R., Fajardo, V., Edouard, F., & FAO. (2015). Ficha Metodologica: Diseño y procesamiento de las encuestas a nivel de los hogares. FAO.
- Nikon-Trimble. (Octubre de 2005). Guía del Usuario: Estación total Trimble M3. Kellenburger Road Dayton, Ohio, EE.UU.
- Ochoa, L. H. (1992). *Métodos y Sistemas de Medición de Gasto*. México D.F.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Pinos, J., Chacón, G., & Feyen, J. (2018). Comparative analysis of eto estimation models with application to the wet andean paramo ecosystem in southern ecuador. *Meteorologica. Article in Press*.
- Rojas, D. F. (5 de Febrero de 2018). *Medum.com*. Obtenido de <https://medium.com/@2520162037/aplicaci%C3%B3n-de-la-topograf%C3%ADa-en-la-ingenier%C3%ADa-civil-9f5e763c0977>
- Torres, N. A., & Villate, B. E. (2000). Topografía 4ta Edición. En E. V. Alvaro Torres Nieto, *Topografía* (págs. 17, 380). Bogota: Escuela Colombiana de Ingenieria.
- Valeport. (2018). *Valeport ltd - quality underwater instrumentation*. Obtenido de <https://www.valeport.co.uk/Products/Current-Meters>

**ANEXOS****Anexo 1** Ficha catastral para sistemas de riego**1. DATOS GENERALES**

FECHA:	
PROPIETARIO:	CI:
CONYUGUE:	CI:

**2. POBLACION**

MIEMBROS FAMILIARES QUE VIVEN JUNTOS	
NOMBRES COMPLETOS	PARENTEZCO

**3. DATOS GENERALES DE LOS PREDIOS**

Numero de predios dentro del sector que estén a su nombre:

USO	1	2	3	4	5
AGRICOLA					
GANADERIA					
MIXTA					
SOLO VIVIENDA					
NO CULTIVABLE					
OTRO					

**4. CULTIVOS EN EL ÚLTIMO AÑO**

Cuál es el producto que mayormente cultiva en su terreno:

NUMERO DE PREDIOS	CULTIVO PREDOMINANTE	MES DE SIEMBRA	MES DE COSECHA
1			
2			
3			
4			
5			

PROYECCION DE CULTIVOS	
CULTIVO	AREA
<b>TOTAL:</b>	

**5. VALOR ECONOMICO DEL CULTIVO**

Cuál es el valor económico de sus productos

Poco valor económico	
Autoconsumo y comercialización	
Alto valor económico	

**6. RIEGO**

<b>RIEGA:</b>	<b>SUPERFICIE QUE RIEGA:</b>		
<b>CADA CUANTO TIEMPO:</b>	<b>ES SUFICIENTE EL CAUDAL:</b>		
<b>TIPO DE RIEGO:</b>	<b>CUENTA CON RESERVORIO:</b>		
<b>CAUDAL QUE UTILIZA:</b>	<b>DÍAS Y HORARIO DE RIEGO:</b>		
<b>CUANTAS HORAS RIEGA:</b>	<b>MAÑANA</b>	<b>TARDE</b>	<b>NOCHE</b>

**7. COORDENADAS**

PROVINCIA: AZUAY	PARROQUIA:	SUPERFICIE:	FECHA:	
CANTON: NABON	SECTOR:	ESCALA:	ALTITUD: <span style="float: right;">msnm</span>	
		<b>CUADRO DE COORDENADAS (UTM)</b>		
		PTO.	LONGITUD	LATITUD
FIRMA LEVANTAMIENTO	TECNICO RESPONSABLE	REVISION Y APROBACION		

**Anexo 2** Valores de precipitación acumulada mensual 2002-2011 en la estación M0420.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2002	40.9	51.7	78.2	41.2	58.6	36.7	15.0	15.2	12.2	130.0	80.2	50.3
2003	10.4	32.8	118.3	83.9	26.4	51.7	16.2	2.2	32.2	46.6	64.9	39.9
2004	44.3	23.4	42.8	79.0	58.4	15.5	15.9	4.3	49.3	46.9	127.5	41.9
2005	25.5	91.6	166.6	60.7	29.1	14.6	5.5	8.0	42.3	78.9	24.9	149.3
2006	75.7	121.9	171.4	100.8	5.3	43.7	2.4	4.8	13.6	23.4	124.6	118.8
2007	3.3	57.9	86.6	156.3	89.0	73.0	10.4	41.8	16.1	60.5	88.3	63.4
2008	90.5	227.1	123.2	273.1	145.2	45.0	<b>44.2</b>	7.9	20.6	114.3	154.1	79.8
2009	111.5	51.1	70.9	58.4	68.0	8.8	0.5	4.5	0.3	40.1	23.2	51.6
2010	27.1	<b>64.1</b>	70.2	53.5	66.6	69.2	70.4	8.6	8.5	43.7	<b>37.7</b>	105.8
2011	63.8	203.1	124.4	155.1	106.0	10.7	17.9	5.0	45.0	35.5	132.0	106.7

Nota: Valores en negrita corresponden a datos rellenados por medio de una regresión lineal con estaciones de precipitación cercanas.

**Anexo 3** Valores de temperatura máxima, mínima y media mensual de las estaciones utilizadas en el estudio.

Estación	Fecha	Tmax	Tmin	Tm	Estación	Fecha	Tmax	Tmin	Tm
<b>M1172</b>	01/01/2008	22.6	13.1	16.6	<b>M0032</b>	01/01/2009	23.20	15.50	19.00
	01/02/2008	22.6	13	16.4		01/02/2009	23.20	15.70	19.00
	01/03/2008	22.6	12.7	16.9		01/03/2009	24.80	14.80	19.70
	01/04/2008	22.7	13.2	17.2		01/04/2009	25.90	15.50	20.30
	01/05/2008	22.6	13	17.1		01/05/2009	26.80	15.20	20.40
	01/06/2008	23.1	14	17.4		01/06/2009	27.60	14.50	20.20
	01/07/2008	22.5	13.6	17.4		01/07/2009	27.80	13.30	20.90
	01/08/2008	23.6	13.2	17.6		01/08/2009	29.60	13.60	21.00
	01/09/2008	24.7	12.9	18		01/09/2009	30.40	13.20	21.50
	01/10/2008	24.3	13.1	17.9		01/10/2009	28.80	14.50	20.80
	01/11/2008	24.3	12.6	17.5		01/11/2009	<b>27.50</b>	13.00	19.90
	01/12/2008	24	12.4	17.4		01/12/2009	<b>25.95</b>	14.50	19.80
				01/01/2010	<b>26.22</b>	14.70	19.90		
				01/02/2010	<b>27.31</b>	15.90	20.30		
				01/03/2010	<b>27.31</b>	16.20	20.30		
				01/04/2010	<b>28.12</b>	16.20	20.60		
				01/05/2010	27.20	16.70	20.80		
				01/06/2010	26.40	15.70	20.30		
				01/07/2010	26.30	14.40	19.40		
				01/08/2010	27.60	14.60	20.70		
				01/09/2010	26.80	13.70	19.80		
				01/10/2010	27.60	14.40	20.30		
				01/11/2010	26.50	13.90	19.10		
				01/12/2010	23.90	14.40	18.30		
				01/01/2011	23.70	15.20	18.50		
				01/02/2011	24.30	15.20	19.20		
				01/03/2011	25.70	14.20	19.50		
				01/04/2011	25.10	15.80	19.80		
				01/05/2011	26.90	15.10	20.40		
				01/06/2011	26.70	15.10	20.20		
				01/07/2011	26.80	14.50	20.20		
				01/08/2011	29.30	14.10	21.60		
				01/09/2011	<b>30.29</b>	<b>13.90</b>	21.40		
				01/10/2011	26.50	13.70	19.80		
				01/11/2011	26.20	13.80	19.40		
				01/12/2011	24.80	14.90	19.30		

Nota: Valores en negrita fueron rellenados por medio de una regresión lineal con los valores de temperatura media. Valores en negrita y cursiva fueron rellenados por una interpolación simple de los valores anteriores y siguientes a los datos faltantes.

## **ANEXOS DIGITALES**

Anexo 4 Dibujos de Patadel (2 láminas)

Anexo 5 Dibujos de Salocota (4 láminas)

Anexo 6 Dibujos de Trancapata (2 láminas)

Anexo 7 Dibujos de La Cruz y Membrillo (6 láminas)

Anexo 8 Abscisado y perfiles del canal de captación (7 láminas)

Anexo 9 Abscisado y perfiles Captación - reservorio Salocota (2 láminas)

Anexo 10 Canal de Patadel (4 láminas)

Anexo 11 Ramales del canal de Patadel en Salocota (3 láminas)

Anexo 12 Ramales del canal de Patadel en Patadel (9 láminas)

Anexo 13 Canal de La Cruz (3 láminas)

Anexo 14 Ramales del Canal de La Cruz hasta Membrillo (10 láminas)

Anexo 15 Documento de Excel con los resultados de las encuestas

Anexo 16 Documento de Excel “Gráficos” de Balance Hídrico

Anexo 17 Documento de Excel “Análisis de Datos” de Balance Hídrico

Anexo 18 Documento de Excel “Tabla Caudales” de Balance Hídrico

## **ANEXOS FÍSICOS**

Anexo 19 Fichas de encuestas en las 5 comunidades