

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**



**TESIS:**

**“EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO DE LOS CASERÍOS LIMAPAMPA, EL ALIZAL, CHUQUIAMO Y MARCOPAMPA BENEFICIARIOS DEL CANAL SAN MARCOS II – CHUQUIAMO, PROVINCIA DE SAN MARCOS - CAJAMARCA”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO HIDRÁULICO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**DANTE JULIHNIO QUIROS ENCO**

**ASESOR:**

**Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2025**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** DANTE JULIHNIO QUIROS ENCO  
**DNI:** 48496819  
**Escuela Profesional:** INGENIERÍA HIDRÁULICA
- Asesor:** Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE.  
**Facultad:** INGENIERÍA.
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:** EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO DE LOS CASERÍOS LIMAPAMPA, EL ALIZAL, CHUQUIAMO Y MARCOPAMPA BENEFICIARIOS DEL CANAL SAN MARCOS II-CHUQUIAMO, PROVINCIA DE SAN MARCOS-CAJAMARCA.
- Fecha de evaluación:** 26 de Julio de 2025
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 17 %
- Código Documento:** oid:3117: 476521103
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 31 de julio del 2025.

		Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 31/07/2025 19:29:22-0500
<hr/> <b>FIRMA DEL ASESOR</b> <b>Nombres y Apellidos:</b> JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE  <b>DNI:</b> 26609077	<hr/> <b>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</b>	



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



**ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.**

TITULO : EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO DE LOS CASERÍOS LIMAPAMPA, EL ALIZAL, CHUQUIAMO Y MARCOPAMPA BENEFICIARIOS DEL CANAL SAN MARCOS II - CHUQUIAMO, PROVINCIA DE SAN MARCOS - CAJAMARCA.

ASESOR : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0477-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 12 de agosto de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **quince días del mes de agosto de 2025**, siendo las quince horas (3:00 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Ambiente 1A - Segundo Piso), de la facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

- Presidente : Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.
- Vocal : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
- Secretario : M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO DE LOS CASERÍOS LIMAPAMPA, EL ALIZAL, CHUQUIAMO Y MARCOPAMPA BENEFICIARIOS DEL CANAL SAN MARCOS II - CHUQUIAMO, PROVINCIA DE SAN MARCOS - CAJAMARCA, presentado por el Bachiller en Ingeniería Hidráulica DANTE JULIHNIO QUIROS ENCO, asesorado por el Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : ..... <sup>07</sup> ..... PTS.  
 EVALUACIÓN PÚBLICA : ..... <sup>10</sup> ..... PTS.  
 EVALUACIÓN FINAL : ..... <sup>10</sup> ..... PTS.      *Diccionario* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *Aprobado* con el calificativo de *Diccionario* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *16:30* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

*[Signature]*  
Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.  
Presidente

*[Signature]*  
Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Vocal

*[Signature]*  
M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.  
Secretario

*[Signature]*  
Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Asesor

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haber sido mi fortaleza espiritual en todo momento para seguir adelante con mi proyecto de vida.

A mi familia por su apoyo incondicional para ser mejor persona cada día y hacer realidad todos los objetivos trazados.

A la Universidad Nacional de Cajamarca por ser mi casa superior de estudio y a la E.A.P. Ingeniería Hidráulica por brindarme una educación de calidad.

A mi asesor de tesis Dr. Ing. Francisco Huamán Vidaurre, por su gran aporte y asesoría en todo el desarrollo de este proyecto de investigación.

A los jurados de tesis designados, los cuales aportan con sus cometarios las mejoras para el proyecto de investigación.

A la junta directiva y usuarios del canal de riego San Marcos II- Chuquiamo, por permitirme realizar la investigación y prestarme las facilidades necesarias para alcanzar los objetivos trazados.

A todas las personas que aportaron de forma directa o indirecta para que este anhelo se haga realidad.

Dante Julihnio Quiros Enco

## **DEDICATORIA**

Esta investigación está dedicada a:

A nuestro señor, por guiarme en cada paso que doy, haciendo que todo sea posible de alcanzar.

A mis queridos padres Aurea y Francisco, quienes con su esfuerzo, sacrificio y amor mostrados a lo largo de mi vida permitieron que cumpla mis metas.

A mi amada hija Mariam, por darme el valor de seguir adelante todos los días y cumplir todas las metas trazadas.

A mi esposa Maricielo, por brindarme su apoyo incondicional a cada momento en el desarrollo de esta investigación.

A mis hermanas Belén y Sofía, porque son el motivo de ser un buen ejemplo y mejor persona cada día.

A mis familiares y amigos, quienes, con sus buenos deseos y ayuda brindada en todo momento sin condición, hacen posible que cumpla mis objetivos.

Dante Julihnio Quiros Enco

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.1. Contextualización .....	1
1.1.2. Descripción del problema .....	1
1.1.3. Formulación del problema .....	2
1.2. Hipótesis .....	3
1.3. Justificación e importancia de la investigación .....	3
1.3.1. Justificación científica .....	3
1.3.2. Justificación técnica – práctica .....	3
1.3.3. Justificación institucional y personal .....	4
1.4. Alcances o delimitación de la investigación .....	4
1.5. Limitaciones de la investigación.....	5
1.6. Objetivos de la investigación .....	5
1.6.1. Objetivo general.....	5
1.6.2. Objetivos específicos .....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación .....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	6

2.1.2. Antecedentes nacionales .....	6
2.1.3. Antecedentes locales .....	7
2.2. Base teórica .....	7
2.2.1. Sistemas de riego por gravedad .....	7
2.2.2. Factores influyentes para determinar un sistema riego.....	9
2.2.3. Propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego.....	11
2.2.4. Agua disponible en el suelo de cultivo .....	14
2.2.5. Movimiento del Agua en el Riego .....	22
2.2.6. Necesidades de agua de los cultivos .....	33
2.2.7. Demanda de agua de los cultivos o requerimiento neto .....	38
2.2.8. Demanda de agua del proyecto o requerimiento bruto .....	38
2.2.9. Medición de caudales en un sistema de riego .....	40
2.2.10. Eficiencia del sistema de riego (Efr).....	44
2.2.11. Captación para un sistema de riego .....	51
2.2.12. Canales de un sistema de riego .....	55
2.2.13. Operación de la infraestructura del sistema de riego .....	65
2.2.14. Mantenimiento de la infraestructura del sistema de riego .....	65
2.2.15. Organizaciones de usuarios de agua .....	67
2.3. Definición de términos básicos .....	69
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>71</b>
3.1. Aspectos generales.....	71
3.1.1. Ubicación política .....	71

3.1.2. Ubicación geográfica .....	71
3.1.3. Ubicación de la zona de estudio.....	73
3.1.4. Ubicación temporal de la investigación.....	75
3.2. Materiales y equipamiento para la investigación.....	75
3.2.1. Para trabajos en campo .....	75
3.2.2. Para trabajos en gabinete .....	75
3.3. Metodología .....	76
3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de Investigación .....	76
3.3.2. Población de estudio .....	76
3.3.3. Muestra .....	76
3.3.4. Unidad de análisis .....	78
3.3.5. Unidad de observación.....	78
3.4. Procedimiento para el desarrollo de la investigación. ....	78
3.4.1. Recopilación y selección de la información para la investigación .....	78
3.4.2. Ubicación e identificación del área de estudio .....	79
3.4.3. Identificación de los puntos de aforo en el sistema de riego .....	79
3.4.4. Medición de caudales en el sistema de riego en estudio.....	81
3.4.5. Levantamiento topográfico de la captación y de las parcelas de muestra .	81
3.4.6. Caracterización de la infraestructura de riego .....	82
3.4.7. Caracterización de los terrenos agrícolas y método de riego utilizados ....	82
3.4.8. Evaluación de la operación y mantenimiento del sistema de riego .....	84
3.4.9. Procesamiento de la información cartográfica y topográfica .....	84

3.4.10. Estudio hidrológico y climatológico de la zona de estudio .....	84
3.4.11. Eficiencia de sistema de riego.....	85
3.4.12. Demanda de agua para el proyecto .....	86
<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>87</b>
4.1. Etapa inicial del trabajo de investigación .....	87
4.1.1. Identificación del área de estudio .....	87
4.2. Etapa de campo de la investigación .....	88
4.2.1. Puntos de aforos en el sistema de riego .....	88
4.2.2. Levantamientos topográficos de los terrenos de cultivo y captación .....	105
4.2.3. Características de la infraestructura de riego .....	106
4.2.4. Caracterización de los terrenos agrícolas y método de riego utilizados ..	109
4.2.5. Caracterización de los métodos de riego utilizados.....	111
4.2.6. Evaluación de la operación y mantenimiento del sistema de riego .....	123
4.3. Etapa de gabinete .....	125
4.3.1. Procesamiento de la información cartográfica y topográfica .....	125
4.3.2. Estudio hidrológico y climatológico de la zona de estudio .....	128
4.3.3. Eficiencia del sistema de riego .....	129
4.3.4. Demanda de agua para el proyecto .....	148
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>150</b>
5.1. Conclusiones .....	150
5.2. Recomendaciones .....	156
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>159</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>163</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Eficiencia de aplicación de los métodos de riego.....	8
<b>Tabla 2:</b> Tamaño de partículas según la sociedad Internacional .....	12
<b>Tabla 3:</b> Densidad aparente para las diferentes clases texturales .....	13
<b>Tabla 4:</b> Cuadro resumen de características hídricas del suelo .....	15
<b>Tabla 5:</b> Valores para la evapotranspiración potencial de 5 a 6 mm/día .....	17
<b>Tabla 6:</b> Factor de ajuste para la precipitación media mensual .....	19
<b>Tabla 7:</b> Precipitación efectiva (USDA, SCS).....	20
<b>Tabla 8:</b> Datos representativos de algunas propiedades físicas del suelo.....	22
<b>Tabla 9:</b> Radiación extraterrestre media diaria (RMD) expresada en equivalente de evapotranspiración (mm/día): Ra.....	34
<b>Tabla 10:</b> Evapotranspiración potencial (ETP) en zonas alto andinas del Perú. ....	34
<b>Tabla 11:</b> Kc para diferentes cultivos según el clima y la fase de crecimiento .....	37
<b>Tabla 12:</b> Medición de velocidades en relación con la altura del tirante.....	41
<b>Tabla 13:</b> Eficiencia en el riego por gravedad (%) .....	50
<b>Tabla 14:</b> Eficiencias de riego en un sistema de aspersión (%).....	51
<b>Tabla 15:</b> Valores de rugosidad "n" de Manning más usados .....	56
<b>Tabla 16:</b> Ancho de la base de un canal en función del caudal. ....	63
<b>Tabla 17:</b> Ubicación política de la zona de estudio. ....	71
<b>Tabla 18:</b> Ubicación geográfica de la ciudad de San Marcos.....	71
<b>Tabla 19:</b> Ubicación geográfica de la zona de estudio (captación) .....	73
<b>Tabla 20:</b> Información para el desarrollo de tesis.....	78
<b>Tabla 21:</b> Coordenadas del punto de aforo en el río Muyoc.....	89
<b>Tabla 22:</b> Caudales aforados en el río Muyoc .....	89
<b>Tabla 23:</b> Coordenadas de los puntos de aforo de la captación.....	91

<b>Tabla 24:</b> Aforros realizados en la captación del canal San Marcos II, tomado como base el método del correntómetro. ....	92
<b>Tabla 25:</b> Coordenadas de los puntos de aforo en la conducción del sistema de riego. ....	94
<b>Tabla 26:</b> Aforros en la progresiva 0+00, 0+500 y 1+000 del tramo de muestra de la conducción en el mes de julio del 2023. ....	95
<b>Tabla 27:</b> Aforros en la progresiva 0+00, 0+500 y 1+000 del tramo de muestra de la conducción en el mes de agosto del 2023. ....	96
<b>Tabla 28:</b> Aforros en la progresiva 0+00, 0+500 y 1+000 del tramo de muestra de la conducción en el mes de septiembre del 2023. ....	97
<b>Tabla 29:</b> Coordenada de los puntos de derivación desde la conducción hacia la distribución de los canales de muestra hacia los terrenos de cultivo. ....	98
<b>Tabla 30:</b> Aforros en la distribución del canal de riego en el mes de julio del 2023. ....	99
<b>Tabla 31:</b> Aforros en la distribución del canal de riego en el mes de agosto del 2023. ....	100
<b>Tabla 32:</b> Aforros en la distribución del canal de riego en el mes de septiembre del 2023. ....	101
<b>Tabla 33:</b> Coordenadas de los terrenos de cultivo de muestra. ....	102
<b>Tabla 34:</b> Aforros en la aplicación nivel parcela en el mes de julio del 2023. ....	103
<b>Tabla 35:</b> Aforros en la aplicación nivel parcela en el mes de agosto del 2023. ....	104
<b>Tabla 36:</b> Aforros realizados en la aplicación nivel parcela en el mes de septiembre del 2023. ....	105
<b>Tabla 37:</b> Fechas de levantamiento topográfico y equipos utilizados. ....	106
<b>Tabla 38:</b> Caracterización de la infraestructura de la captación. ....	107

<b>Tabla 39:</b> Caracterización de la infraestructura de conducción en 1 km de muestra representativa. ....	108
<b>Tabla 40:</b> Caracterización de la infraestructura de distribución de muestra representativa. ....	109
<b>Tabla 41:</b> Fechas de extracción de suelo de las parcelas de muestra.....	110
<b>Tabla 42:</b> Método de riego utilizados en los terrenos de cultivo de muestra.....	111
<b>Tabla 43:</b> Datos de campo de infiltración del caserío Marcopampa.....	112
<b>Tabla 44:</b> Procesamiento de los datos obtenidos en el caserío Marcopampa. ....	113
<b>Tabla 45:</b> Datos de campo de infiltración del caserío Chuquiamo .....	114
<b>Tabla 46:</b> Procesamiento de los datos obtenidos en el caserío Chuquiamo.....	115
<b>Tabla 47:</b> Datos de campo de infiltración del caserío Chuquiamo (aspersión) .....	116
<b>Tabla 48:</b> Procesamiento de los datos obtenidos en el caserío Chuquiamo (asp.)...	117
<b>Tabla 49:</b> Datos de campo de infiltración del caserío Limapampa.....	118
<b>Tabla 50:</b> Procesamiento de los datos obtenidos en el caserío Limapampa .....	119
<b>Tabla 51:</b> Datos de campo de infiltración del caserío El Alizal. ....	120
<b>Tabla 52:</b> Procesamiento de los datos obtenidos en el caserío El Alizal.....	121
<b>Tabla 53:</b> Datos de campo para determinar la función de avance e infiltración.....	123
<b>Tabla 54:</b> Determinación de la función de avance e infiltración. ....	123
<b>Tabla 55:</b> Características del tramo del río donde se ubica la captación. ....	125
<b>Tabla 56:</b> Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío Limapampa.....	126
<b>Tabla 57:</b> Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío El Alizal.....	126
<b>Tabla 58:</b> Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío Chuquiamo (aspersión) .....	127

<b>Tabla 59:</b> Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío Chuquiamao.....	127
<b>Tabla 60:</b> Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío Marcopampa.....	128
<b>Tabla 61:</b> Información hidrológica y climatológica de la estación “San Marcos” ..	128
<b>Tabla 62:</b> Eficiencia de captación del sistema de riego.....	129
<b>Tabla 63:</b> Eficiencia de conducción del sistema de riego.....	130
<b>Tabla 64:</b> Eficiencia de distribución del sistema de riego.....	131
<b>Tabla 65:</b> Datos meteorológicos de la estación San Marcos .....	132
<b>Tabla 66:</b> Área bajo riego de cada sector del canal San Marcos II - Chuquiamao.....	133
<b>Tabla 67:</b> Cálculo de la demanda del agua del proyecto por parcelas en el mes de julio .....	133
<b>Tabla 68:</b> Cálculo de la demanda del agua del proyecto por parcelas en el mes de agosto .....	134
<b>Tabla 69:</b> Cálculo de la demanda del agua del proyecto por parcelas en el mes de septiembre .....	134
<b>Tabla 70:</b> Cálculo de la evapotranspiración en la zona de estudio .....	135
<b>Tabla 71:</b> Términos y fórmulas para el cálculo de la eficiencia de aplicación y demanda mensual .....	135
<b>Tabla 72:</b> Cédula de cultivo de la parcela de muestra del caserío Limapampa .....	136
<b>Tabla 73:</b> Cálculo de la lámina de riego, frecuencia de riego y tiempo de riego en la parcela de muestra del centro poblado Limapampa.....	137
<b>Tabla 74:</b> Cédula de cultivo de la parcela de muestra del caserío El Alizal.....	138
<b>Tabla 75:</b> Cálculo de la lámina de riego, frecuencia de riego y tiempo de riego en la parcela de muestra del caserío El Alizal. ....	139

<b>Tabla 76:</b> Cédula de cultivo de la parcela del caserío Chuquiamo con el sistema de riego por aspersión. ....	140
<b>Tabla 77:</b> Cálculo de la lámina de riego, frecuencia de riego y tiempo de riego en la parcela de muestra del caserío Chuquiamo con sistema de riego por aspersión.....	141
<b>Tabla 78:</b> Cédula de cultivo de la parcela de muestra del caserío Chuquiamo .....	142
<b>Tabla 79:</b> Cálculo de la lámina de riego, frecuencia de riego y tiempo de riego en la parcela de muestra del caserío Chuquiamo. ....	143
<b>Tabla 80:</b> Cédula de cultivo de la parcela de muestra del caserío Marcopampa con cultivo de alfalfa.....	144
<b>Tabla 81:</b> Cálculo de la lámina de riego, frecuencia de riego y tiempo de riego en la parcela de muestra del caserío Marcopampa con cultivo de alfalfa.....	145
<b>Tabla 82:</b> Cédula de cultivo de la parcela de muestra del caserío Marcopampa con cultivo de papa. ....	146
<b>Tabla 83:</b> Cálculo de la lámina de riego, frecuencia de riego y tiempo de riego en la parcela de muestra del caserío Marcopampa con cultivo de papa. ....	147
<b>Tabla 84:</b> Eficiencia promedio de aplicación a nivel parcela del sistema de riego del canal de riego. ....	148
<b>Tabla 85:</b> Demanda o requerimiento de agua mensual y anual del proyecto en los cuatro sectores de riego con 221.62 hectáreas, para uso agrícola a nivel parcela.....	148
<b>Tabla 86:</b> Demanda de agua mensual y anual desde la entrada de la captación hasta la aplicación. ....	149
<b>Tabla 87:</b> Demanda de agua y eficiencia en el sistema de riego. ....	149

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> <i>Elementos climáticos</i> .....	10
<b>Figura 2:</b> <i>Triángulo textural</i> .....	12
<b>Figura 3:</b> <i>Lamina infiltrada y la velocidad de infiltración instantánea</i> .....	28
<b>Figura 4:</b> <i>Cilindros usados para medir la variación del nivel de agua</i> .....	30
<b>Figura 5:</b> <i>Rangos típicos del valor de <math>K_c</math> para las cuatro etapas del crecimiento</i> ..	37
<b>Figura 6:</b> <i>Tubo de Pitot</i> .....	43
<b>Figura 7:</b> <i>Pérdidas en canales de Distribución y Conducción</i> .....	48
<b>Figura 8:</b> <i>Esquema de Bocatoma convencional</i> .....	53
<b>Figura 9:</b> <i>Secciones típicas de canales</i> .....	56
<b>Figura 10:</b> <i>Ubicación regional y provincial de San Marcos</i> .....	72
<b>Figura 11:</b> <i>Ubicación del distrito Pedro Gálvez capital de la provincia de San Marcos</i> .....	73
<b>Figura 12:</b> <i>Croquis del sistema de riego</i> .....	74
<b>Figura 13:</b> <i>Etiqueta de identificación de muestra</i> .....	83
<b>Figura 14:</b> <i>Punto de medición de caudales en el río Muyoc</i> .....	88
<b>Figura 15:</b> <i>Variación de caudales aforados en el Río Muyoc</i> .....	90
<b>Figura 16:</b> <i>Sección de medición de caudales de captación</i> .....	91
<b>Figura 17:</b> <i>Sección de medida de caudales en la progresiva 0+000</i> .....	93
<b>Figura 18:</b> <i>Sección de medida de caudales en la progresiva 0+550</i> .....	93
<b>Figura 19:</b> <i>Sección de medida de caudales en la progresiva 1+000</i> .....	94
<b>Figura 20:</b> <i>Captación del sistema de riego</i> .....	108
<b>Figura 21:</b> <i>Extracción de muestra de suelo caserío Limapampa</i> .....	110
<b>Figura 22:</b> <i>Prueba de infiltración caserío Marcopampa</i> .....	111
<b>Figura 23:</b> <i>Toma de datos de la prueba de avance en surcos de cultivo de papa</i>	122

<b>Figura 24:</b> <i>Cálculo de la precipitación efectiva con el software CROPWAT 8 ....</i>	132
<b>Figura 25:</b> <i>Gráfico del balance hídrico de la parcela de muestra del caserío Limapampa.....</i>	136
<b>Figura 26:</b> <i>Gráfico del balance hídrico de la parcela de muestra del caserío El Alizal .....</i>	138
<b>Figura 27:</b> <i>Gráfico del balance hídrico de la parcela del caserío Chuquiamo con riego por aspersión .....</i>	140
<b>Figura 28:</b> <i>Gráfico del balance hídrico de la parcela de muestra del caserío Chuquiamo .....</i>	142
<b>Figura 29:</b> <i>Gráfico del balance hídrico de la parcela de muestra del caserío Marcopampa .....</i>	144
<b>Figura 30:</b> <i>Gráfico del balance hídrico de la parcela del caserío Marcopampa con cultivo de papa .....</i>	146

## RESUMEN

Este proyecto de investigación se realizó para determinar la eficiencia de funcionamiento del sistema de riego de los caseríos de Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa beneficiarios del canal de riego San Marcos II- Chuquiamo del distrito Pedro Gálvez, Provincia de San Marcos, departamento de Cajamarca; el sistema de riego capta según resolución, hasta 485 l/s del río Muyoc, ubicado en el caserío de Limapampa; consta de una captación con barraje fijo, un canal de conducción de 7.79 km; canales de distribución que sumados da 10.956 km; la superficie irrigada es de 221.62 ha; para determinar la eficiencia de funcionamiento, se realizó aforos a lo largo de todo el sistema de riego entre los meses de julio a septiembre del 2023; la eficiencia de captación fue de 80.56 %; para la conducción, se tomó una unidad de análisis de 1.0 km, luego se extendió a toda su longitud, obteniendo una eficiencia de 90.158 % , el mismo procedimiento se aplicó a la distribución, obteniendo una eficiencia de 83.05 %; para la eficiencia de aplicación, se seleccionó cinco parcela de muestra, con siembras de alfalfa (no rotacional) y papa( rotacional) y con riego por aspersión e inundación, se halló sus parámetros hídricos mediante análisis de suelos, pruebas de infiltración y levantamientos topográficos para las áreas, obteniendo así la demanda del cultivo, se midió los caudales de ingreso a las parcelas determinando una eficiencia promedio por unidad de análisis y luego se extendió para toda el área del proyecto obteniendo un valor de 37.15 %; la eficiencia del sistema es el producto de las eficiencias desde la captación, hasta la aplicación, con un valor de 22.409%; concluyendo que el sistema es ineficiente de acuerdo a las pérdidas en el sistema, tipo de riego y a la baja oferta de la fuente hídrica producto de las escasas precipitaciones, de acuerdo a los aforos realizados en el río Muyoc; la demanda de agua del sistema es mayor en el mes de julio con 908051.75 m<sup>3</sup>/mes y anual de 6581112.34 m<sup>3</sup>/año; la operación está dentro de lo normal, con riegos cada 8 días, operarios están atentos las 24 horas y el mantenimiento del canal se realiza cada medio año por parte de los usuarios.

**Palabras clave:**

**Eficiencia:** es la capacidad para que se cumpla o se realice una determinada función en este caso hablamos del canal de riego, donde se puede expresar como el caudal de salida entre el caudal de ingreso expresado en porcentaje.

**Sistema:** hace referencia a un conjunto de elementos que se van relacionando entre sí de forma ordenada para cumplir una determinada función.

**Riego:** es una práctica que radica en aportar agua al suelo para que determinadas plantas o cultivos se puedan desarrollar, con el fin de su aprovechamiento.

**Operación:** se refiere a la gestión y control de las funciones internas de un sistema, en este caso de un sistema de riego.

**Mantenimiento:** implica la realización de tareas para mantener la operatividad y eficiencia de un sistema.

**Demanda de agua:** cantidad de agua que los usuarios de ese sistema necesitan y solicitan para satisfacer sus diversas necesidades, en este caso es uso agrícola

## ABSTRACT

This research project was carried out to determine the operating efficiency of the irrigation system of the hamlets of Limapampa, El Alizal, Chuquiamo and Marcopampa, beneficiaries of the San Marcos II-Chuquiamo irrigation canal in the Pedro Gálvez district, San Marcos Province, Cajamarca department; the irrigation system captures, according to resolution, up to 485 l/s from the Muyoc River, located in the hamlet of Limapampa; it consists of a catchment with fixed barrage, a 7.79 km conduction canal; distribution channels that added up to 10,956 km; the irrigated area is 221.62 ha; to determine the operating efficiency, gauging was carried out throughout the entire irrigation system between the months of July and September 2023; the capture efficiency was 80.56 %; For conduction, an analysis unit of 1.0 km was taken, then extended to its entire length, obtaining an efficiency of 90.158%, the same procedure was applied to distribution, obtaining an efficiency of 83.05%; for application efficiency, five sample plots were selected, with alfalfa (non-rotational) and potato (rotational) crops and with sprinkler and flood irrigation, their water parameters were found through soil analysis, infiltration tests and topographic surveys for the areas, thus obtaining the crop demand, the flow rates entering the plots were measured, determining an average efficiency per unit of analysis and then extended to the entire project area, obtaining a value of 37.15%; the efficiency of the system is the product of the efficiencies from capture to application, with a value of 22.409%; concluding that the system is inefficient according to the losses in the system, type of irrigation and the low supply of the water source due to low rainfall, according to the measurements made in the Muyoc River; The system's water demand is highest in July, at 908,051.75 m<sup>3</sup>/month and at 6581,112.34 m<sup>3</sup>/year. Operation is within normal limits, with irrigation every 8 days, operators on duty 24 hours a day, and canal maintenance is performed by users every six months.

**Keywords:**

**Efficiency:** The capacity to fulfill or perform a specific function. In this case, we are talking about an irrigation canal, where it can be expressed as the output flow divided by the input flow, expressed as a percentage.

**System:** Refers to a set of elements that are interrelated in an orderly manner to fulfill a specific function.

**Irrigation:** A practice that involves providing water to the soil so that certain plants or crops can grow, for the purpose of its utilization.

**Operation:** Refers to the management and control of the internal functions of a system, in this case, an irrigation system.

**Maintenance:** Involves performing tasks to maintain the operation and efficiency of a system.

**Water demand:** The amount of water that the users of that system need and request to meet their various needs. In this case, it is agricultural use.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

#### **1.1.1. Contextualización**

Al mencionar del aprovechamiento y la conservación de los recursos hídricos implica incentivar el desarrollo de una cultura de uso eficiente del agua, teniendo en cuenta los problemas globales a raíz del cambio climático y el avance de la desertificación, esto solo implica conocer la cantidad de agua dulce disponible que existe en el mundo para diversos usos y uno de ellos es la agricultura, el Perú y la región no es ajena a esta realidad, es por ello que se debe conocer que tan eficientes son los sistemas utilizados para dichos fines.

Los sistemas de riego tradicionalmente están constituidos por una red de canales. Esta configuración conlleva a un suministro de agua en cantidades mayores a las realmente necesarias, debido a pérdidas significativas que se generan por fugas, infiltraciones entre las estructuras, escorrentía superficial y percolación en las parcelas, y a la inadecuada operación y mantenimiento de las estructuras existentes. A ello se suman los ineficientes hábitos de uso del agua de riego por parte de los agricultores, especialmente aquellos ubicados en las zonas alta y media del sistema; esta situación genera preocupación respecto a la eficiencia en la distribución del recurso hídrico. (Leon, H. & Moreno, W. 2015)

#### **1.1.2. Descripción del problema**

Hoy en día es común estar inmersos en constantes sequías a nivel mundial principalmente en países sub desarrollados como son los países africanos por efectos del cambio climático, al cual se suma el uso ineficiente del recurso hídrico sobre todo en el riego tradicional es decir por gravedad, esto genera que exista pérdidas de agua en la conducción como de distribución, así como pérdidas de suelo por erosión, ocasionando por tanto mermas

considerables en la productividad agrícola, lo cual viene incidiendo negativamente en la rentabilidad y en la competitividad de la agricultura. (Jimenez, J. 2017)

En la provincia de San Marcos se ha tenido en cuenta que el canal de riego San Marcos II - Chuquiamo ubicado en los caseríos de Limapampa, El Alizal Chuquiamo y Marcopampa llegando hasta la parte alta de la ciudad de San Marcos con 312 usuarios los cuales abarcan un área total de 254.47 Has, y bajo riego 221.62 Has según la Resolución Directoral N°887-2014-ANA-AAA.M, 2014 del canal de riego, de las cuales 200 ha aproximadamente son sembríos perennes como alfalfa y pastos naturales ryegrass y el resto son reservados para siembra temporales como papa, maíz, arveja, etc según los agricultores; el turno total de agua es de 340 Horas y se reparte cada 8 días, pero este canal no es ajeno a los problemas con respecto al funcionamiento, por lo que se busca con el presente estudio la caracterización de las condiciones de captación y del canal de riego así como su evaluación del sistema de riego utilizado , para que de acuerdo a los resultados obtenidos, los directivos y los usuarios del canal, traten de realizar las mejoras correspondientes y así obtener un mejor servicio para todos los beneficiarios

### **1.1.3 Formulación del problema**

En el sistema del canal de riego San Marcos II – Chuquiamo, en la época de estiaje que abarca los meses de julio, agosto y septiembre hay un déficit de agua para riego, debido a la casi nula precipitación; a pesar de contar con infraestructura hidráulica disponible, el sistema muestra serias deficiencias en su funcionamiento, se evidencian pérdidas significativas de agua desde la captación, conducción, distribución y aplicación, ante esta situación, surgió la interrogante ¿Cuál es la eficiencia de funcionamiento del sistema de riego de los caseríos Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa beneficiarios del canal de riego San Marcos

II- Chuquiamo del distrito Pedro Gálvez, Provincia de San Marcos; departamento de Cajamarca?

## **1.2. Hipótesis**

El sistema de riego de los caseríos Limapamapa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa beneficiarios del canal de riego San Marcos II- Chuquiamo del distrito Pedro Gálvez, Provincia de San Marcos; departamento de Cajamarca, es deficiente, debido a la antigüedad de las estructuras, a la influencia de la operación, mantenimiento y la aplicación del agua en las parcelas de cultivo.

## **1.3 Justificación e importancia de la investigación**

### **1.3.1. Justificación científica**

Desde un enfoque científico, la evaluación de la eficiencia del funcionamiento del sistema de riego de los caseríos Limapamapa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa beneficiarios del canal de riego San Marcos II- Chuquiamo del distrito Pedro Gálvez, Provincia de San Marcos; departamento de Cajamarca, permitió cuantificar estas pérdidas, identificar las causas que las originan y proponer soluciones basadas en principios de hidráulica agrícola, gestión integrada del recurso hídrico y modernización del riego. Esta evaluación fue esencial para mejorar la productividad de los cultivos, reducir el déficit hídrico en las zonas de influencia y promover prácticas sostenibles entre los usuarios.

### **1.3.2. Justificación técnica – práctica**

La evaluación de la eficiencia de funcionamiento del sistema de riego del canal San Marcos II – Chuquiamo, que abastece a los caseríos Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa, resultó de vital importancia desde un enfoque técnica-práctica, ya que permitió identificar de manera precisa los puntos críticos del sistema en cuanto a pérdidas de agua, operación y uso ineficiente del recurso hídrico por parte de los usuarios debido principalmente al tipo de riego; resumiendo, la presente investigación tuvo un impacto práctico directo sobre la gestión del sistema de riego y sobre las condiciones de vida de los agricultores beneficiarios, aportando soluciones reales y aplicables a una problemática concreta.

### **1.3.3. Justificación institucional y personal**

La Universidad Nacional de Cajamarca ha sido fundamental en mi formación académica, brindándome los conocimientos necesarios y el respaldo institucional para el desarrollo de esta tesis, con el propósito de aportar soluciones a problemáticas reales que afectan a las comunidades. Este proceso, además, representó una oportunidad para mi crecimiento personal y profesional, y constituye un paso decisivo hacia la obtención de mi título profesional, por lo tanto, determinar la eficiencia de funcionamiento del sistema de riego de los caseríos Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa beneficiarios del canal San Marcos II – Chuquiamo, provincia de san marcos – Cajamarca, me permitió desarrollar competencias en el análisis de sistemas de riego, manejo de recursos hídricos, lo que fortaleció mi perfil profesional y me preparó para futuros desafíos en el ámbito de la ingeniería.

### **1.4. Alcances o delimitación de la investigación**

La investigación se realizó en los caseríos de Limapampa, El Alizal, Chuquiamo, Marcopampa, provincia de San Marcos – región Cajamarca.

El trabajo de campo se realizó en el lapso de tres meses, a partir de julio, agosto y septiembre del 2023, el cual tiene carácter de una primera aproximación y pretendió dar cuenta de los aspectos generales acerca del nivel de las características de funcionamiento del sistema de riego.

- Delimitación espacial: el canal San Marcos II - Chuquiamo se encuentra en la provincia de San Marcos- distrito Pedro Gálvez- caseríos de Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa por lo tanto es donde se realizará la investigación, la captación de río de donde se toma el agua, la conducción tiene una longitud aproximada de 7 kilómetros, la distribución tiene una longitud aproximada 10 kilómetros.
- Delimitación temporal: tiempo estimado de la investigación fue de 12 meses, empezando el martes 31 de enero del 2023, hasta el 31 de enero del 2024.

## **1.5. Limitaciones de la investigación**

Una de las principales limitaciones potenciales de este tipo de investigaciones fue la dificultad para acceder a información detallada sobre el canal El Alizal–Chuquiamo–San Marcos II, debido a que su construcción data de hace más de treinta años y existen pocos registros documentados al respecto. Por esta razón, el punto de partida del estudio fue la recopilación de información a través del testimonio de los usuarios que participaron directamente en su edificación. Asimismo, otra limitante relevante fue la complejidad del recorrido del canal, ya que en ciertos tramos atraviesa zonas con topografía accidentada y de difícil acceso, con áreas rocosas y de espacio reducido.

## **1.6. Objetivos de la investigación**

### **1.6.1. Objetivo general**

Determinar la eficiencia de funcionamiento del sistema de riego de los caseríos de Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa beneficiarios del canal de riego San Marcos II- Chuquiamo del distrito Pedro Gálvez, Provincia de San Marcos; departamento de Cajamarca.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar el requerimiento de agua para uso agrícola
- b) Determinar la oferta de agua del sistema
- c) Recopilar y procesar información cartográfica y topográfica del sistema del canal de riego los caseríos Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa beneficiarios del canal de riego San Marcos II- Chuquiamo.
- d) Recopilar y procesar información hidrológica y climatológica que tienen influencia en las áreas bajo riego.

- e) Caracterizar la infraestructura de riego de los caseríos Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa beneficiarios del canal de riego San Marcos II- Chuquiamo.
- f) Caracterizar los terrenos agrícolas y métodos de riego utilizados.
- g) Determinar la eficiencia de captación, conducción y distribución.
- h) Determinar la eficiencia de aplicación a nivel de parcela.
- i) Evaluar el manejo del agua en referencia a la operación y mantenimiento por parte de los regantes.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes teóricos de la investigación**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

En la Tesis: *“Implementación de modelo operacional para mejorar el manejo del agua de sistemas de riego en conducciones abiertas”*, El objetivo de esta investigación fue validar el modelo matemático propuesto por Palacios Vélez en el año 1981, para determinar la eficiencia del manejo del agua en el canal de riego Sardinata del distrito de riego El Juncal, localizado en el municipio de Palermo, departamento del Huila, Colombia; mediante la relación entre los caudales extraídos y los caudales servidos. La toma de datos se realizó entre enero y abril de 2020. Se desarrolló un sistema de información hidrométrica del área de estudio mediante ocho (8) puntos de control del agua, uno (1) en el canal Sardinata y siete (7) en cada uno de los canales laterales que conforman esta subunidad operacional. La eficiencia de conducción promedio del canal obtenido durante todo el periodo de evaluación fue del 67,62%, considerada media alta. (Vargas, J. 2020)

#### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

En la tesis *“Mejora de la eficiencia de riego por gravedad en las comisiones de riego del distrito de Chupaca-2018”*, donde la eficiencia de riego viene a ser el 29%, valor que en la

realidad es muy bajo para el sistema de riego por gravedad que ellos practican. Uno de los factores que influyen para el valor de la eficiencia del sistema se deben al mal estado de este acompañado del poco mantenimiento , otro factor es debido al desorden en la distribución de agua en el riego debido aun inadecuado seguimiento del sistema de riego, por lo que hay la necesidad de mejorar todo el sistema de riego, como el mantenimiento periódico del canal de conducción, las compuertas en los puntos de derivación del agua deben de estar operativos y la parte más importante donde la eficiencia de aplicación es la más baja. (Domínguez, T. 2019)

### **2.1.3. Antecedentes locales**

En la tesis “*Estimación de la eficiencia del sistema de riego por surcos en el cultivo de tara (Caesalpinia Spinosa), en el fundo Tanón, región Cajamarca*”, donde se obtuvo los siguientes resultados conducción (90 %), distribución (98,07 %) y aplicación (27,40 %), resultando la eficiencia de riego del sistema en 24,21 %. Debido a la baja eficiencia del sistema se planteó mejoras como una programación de riego adecuada para las condiciones del suelo y las plantas en el fundo, así como la implementación de nuevos métodos de riego. (Vila, J. 2019)

## **2.2. Base teórica**

### **2.2.1. Sistemas de riego por gravedad**

En un sistema de riego por gravedad el agua se capta, se conduce y distribuye con ayuda de la energía generada por la diferencia de alturas entre el punto de captación y el área de regadío. (Vieira, M. 2008)

La eficiencia de aplicación de un sistema de riego se determina en gran medida según el método de riego utilizado cuyos valores se pueden utilizar referencialmente son los siguientes: (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

**Tabla 1:**

Eficiencia de aplicación de los métodos de riego.

Método de riego por gravedad	Rango de eficiencia de aplicación en porcentaje (%)
Superficial	
Riego tradicional, tendido o inundación	(10-30)
Riego por surcos	(40-85)
Presurizado	
Riego por aspersión	(50-90)
Riego por microaspersión	(60-95)
Riego por goteo	(60-95)

Fuente: (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

Los porcentajes pueden variar de acuerdo al tipo de textura de suelo, pendiente, cultivo y a las condiciones climáticas; todos estos factores se deben de tener en cuenta para realizar los riegos y la cantidad de agua a emplear; pero para métodos prácticos se pueden utilizar valores establecidos. (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

#### **2.2.1.1. Sistema de riego por inundación**

La inundación es un sistema de riego por gravedad, donde el agua es distribuida superficialmente sobre el terreno de regadío, inundándolo parcial o totalmente la parcela. Este sistema puede subdividirse en: (Vieira, M. 2008)

a) Inundación en superficie total: Este sistema de riego se realiza cuando toda la superficie de regadío es inundada por el agua. (Vieira, M. 2008).

b) Inundación parcial o por surcos: Este sistema de riego sucede cuando la superficie de regadío está conformada por surcos y camellones y el agua es distribuida a través de dichos surcos, teniendo ciertas restricciones para evitar en la mayoría de veces la erosión del suelo. (Vieira, M. 2008)

#### **2.2.1.2. Sistema de riego por aspersión**

Método de riego presurizado, generando presión y así realizar el movimiento necesario para la irrigación simulando una la precipitación. (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

### **2.2.1.3. Sistema de riego por microaspersión**

El sistema de Microaspersión, es una modificación del sistema de aspersión tradicional es decir que utiliza el mismo mecanismo, pero permitiendo asperjar el agua a poca distancia de la planta y de manera localizada utilizando un caudal mucho menor. (Vieira, M. 2008)

### **2.2.1.4. Sistema de riego por goteo**

Tiene muchas ventajas, como que se aplica el agua de forma localizada y continua, se puede acondicionar a cualquier suelo y condiciones topográficas diversas, es un método muy eficiente entre el 90% a 95% de eficiencia de aplicación. (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

## **2.2.2. Factores influyentes para determinar un sistema riego**

### **2.2.2.1. Cultivo**

Hay muchos factores de cada cultivo que pueden tener influencia en la cantidad de agua que se necesita para su óptimo desarrollo, pero los principales son:

- El sistema radicular, el cual además de dar anclaje absorbe agua y nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta, el tamaño depende del desarrollo y tipo de cultivo.
- El follaje de la planta dará sombra a la planta evitando la evaporación, pero también es por donde se realiza la transpiración y todo junto se denomina evapotranspiración.

(Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

### **2.2.2.2. Topografía**

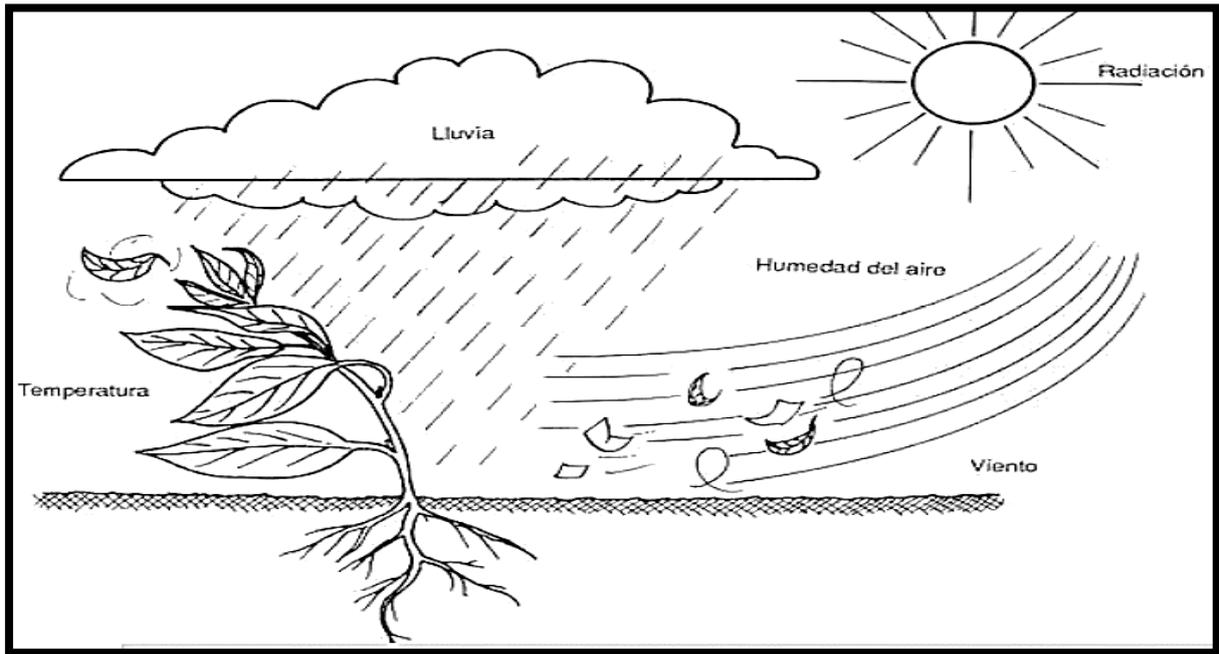
Está ligada a la pendiente del terreno, se expresa en porcentaje; por ejemplo, una pendiente de 3%, significa que el terreno sube o baja 3 metros por cada 100 metros de largo, es un factor importante para determinar el riego adecuado. (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

### 2.2.2.3. Condiciones climáticas de la zona de cultivo

Las características del clima que afectan la cantidad de agua que necesitan las plantas son la radiación, la temperatura, el viento y las precipitaciones. (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

**Figura 1:**

*Elementos climáticos.*



Fuente: (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

#### 2.2.2.3.1. Radiación

Cuando existe mayor radiación o luminosidad mayor evaporación, entonces, los riegos deben ser más frecuentes.

#### 2.2.2.3.2. Temperatura

En los días calurosos, las plantas transpiran más y los riegos deben ser más frecuentes.

#### 2.2.2.3.3. Humedad del aire

Mientras más seco es el aire, las plantas pierden más agua, por lo tanto, necesita riegos más frecuentes.

#### **2.2.2.3.4 Viento**

A mayor velocidad del viento, se seca más rápido el suelo y las plantas transpiran más, por lo tanto, necesita riegos más frecuentes.

#### **2.2.2.3.5. Precipitaciones**

Influyen directamente en la cantidad de agua que requieren las plantas. Para los efectos de riego, son útiles sólo las lluvias sobre 15 mm. Es decir, si cae una lluvia de 20 mm, se considera como riego sólo 5 mm. Resumidamente, los días con temperaturas altas, vientos fuertes y aire seco, provocan mayores pérdidas de agua desde el suelo y mayor consumo por las plantas, por lo que los riegos deben ser más frecuentes. Al contrario, los riegos deben ser más distanciados si los días son más frescos, con vientos suaves, temperaturas más bajas y aire húmedo. (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

### **2.2.3. Propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego**

Hay muchas propiedades que se tiene contemplado al momento de hablar de suelos, pero solo algunas se mencionaran ya que son básicas para la aplicación del riego. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

#### **2.2.3.1. La textura del suelo**

Esta propiedad básicamente se centra en la granulométrica y composición de mecánica de este, indicando la cantidad que hay entre los diferentes tamaños de partículas como son la arena, limo y arcilla las cuales están clasificados según tamaño de la siguiente manera según la sociedad internacional de la ciencia del suelo. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

**Tabla 2:**

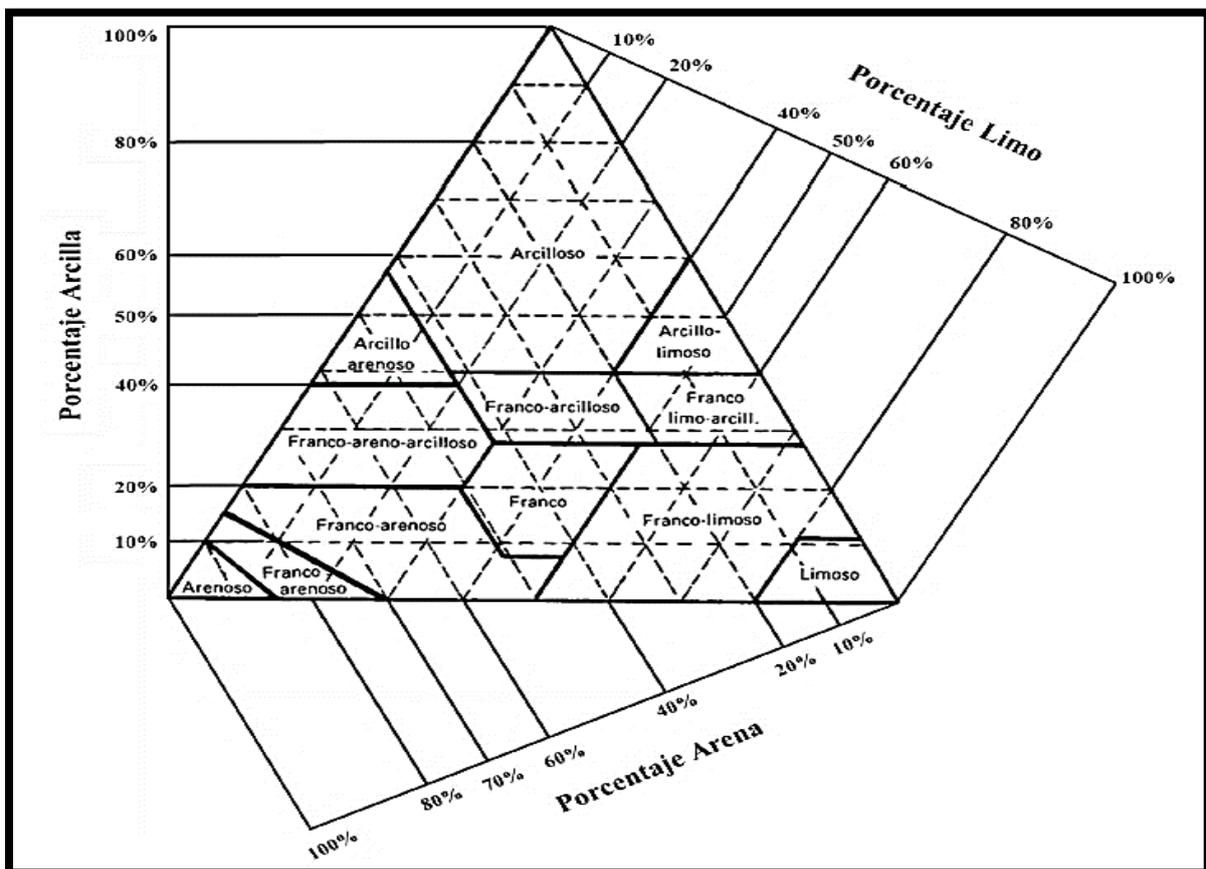
Tamaño de partículas según la Sociedad Internacional.

Fracción granulométrica (mm)	Rango de tamaño de partículas
Arena gruesa	2 – 0.2
Arena fina	0.2 – 0.02
Limo	0.02 – 0.002
Arcilla	<0.002

Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

**Figura 2:**

*Triángulo textural*



Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

Para un mejor entendimiento del suelo, es necesario realizar un análisis de laboratorio e interpretarlo con ayuda del triángulo textural, donde podemos encontrar suelos de textura gruesa o ligera (arenas, arenosos francos), suelos de textura media (franco arenoso, franco

arcillo arenosa, franco limoso, limosa, franco arcillo limosa) y suelos de textura fina (arcilla, arcillo limosa, arcillo arenoso, franco arcillo limoso).

### 2.2.3.2. Densidad aparente o densidad seca (Dap)

Esta propiedad del suelo representa la relación que hay entre el peso del suelo seco ( $P_s$ ) y su volumen total ( $V_t$ ) de una muestra de suelo no disturbada, comúnmente se expresa en g/ml, g/cm<sup>3</sup>, t/m<sup>3</sup>, kg/dm<sup>3</sup>.

$$Dap = \frac{P_s}{V_t} \quad (1)$$

Se puede determinar mediante el método del anillo volumétrico o el método de la parafina, pero el primero es el más usado. Dependiendo la textura de suelo podemos tener una relación para casos prácticos: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

**Tabla 3:**

Densidad aparente para las diferentes clases texturales.

Textura	Densidad aparente (Dap) (g/cm <sup>3</sup> )
Suelo arenoso	1.51 – 1.70
Suelo franco	1.31 – 1.50
Suelo arcilloso	1.00 – 1.30
Suelo volcánico	< 1.00

Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

### 2.2.3.3. Conductividad hidráulica

También conocida como permeabilidad del suelo al agua es decir que es el grado de facilidad con que se mueve el agua dentro del suelo, midiéndose en base a velocidad cm/h, generalmente se representa con la letra K y es de suma importancia tener en cuenta en trabajos de riego y drenaje. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

#### **2.2.4. Agua disponible en el suelo de cultivo**

Es importante señalar que el agua disponible en el suelo para ser utilizado por las plantas está señalada entre la condición de humedad, capacidad de campo (CC, 0.33 bares) y el punto de marchitez permanente (PMP, 15 bares). Si se mantuviera el contenido de humedad del suelo a un nivel mayor que la CC, hay probabilidades de que existiese falta de aire en el suelo y esto afecta el desarrollo de las plantas y puede alcanzar valores cercanos al PMP, ocasionando daños irreversibles a las plantas. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

##### **2.2.4.1. Capacidad de campo (CC)**

Se llama capacidad de campo a la capacidad máxima que tiene el suelo para retener agua retener el agua sin problemas de drenaje, esta capacidad es dada de acuerdo a la textura de suelo entre las 6 y 72 horas después del riego o una precipitación que sature momentáneamente el suelo, en otras palabras, el drenaje del agua gravitacional (percolación) haya cesado. Si se habla con respecto a la energía del agua en el suelo tenemos que 0.33 bares para un suelo arcillosos y de 0.10 bares para una textura arenosa. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

##### **2.2.4.2. Punto de marchitez permanente (PMP)**

En otras palabras, cuando la planta presenta marchitamiento, escaso desarrollo, caída o amarilleamiento de hojas y raquitismo; ocasionado por un flujo extremadamente lento de agua desde el suelo hasta la planta, su estado energético está cercano a los 15 bares teniendo en cuenta el tipo de cultivo. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

A continuación, tenemos un cuadro resumen con diferentes tipos de texturas del suelo con rangos de espacio poroso, densidad aparente, CC, PMP y la humedad aprovechable.

**Tabla 4:**

Cuadro resumen de características hídricas del suelo.

Textura del suelo	Total, de espacio poroso o porosidad total (%)	Densidad aparente Dap (gr/cm <sup>3</sup> )	Capacidad de campo $\theta_{cc}$ (%)	Punto de marchitez permanente $\theta_{pmp}$ (%)	Humedad total aprovechable		
					Peso seco ( $\theta_{cc} - \theta_{pmp}$ ) (%)	Volumen ( $\theta_{cc} - \theta_{pmp}$ )* Dap (%)	cm/m
Arenoso	38 (32-42)	1.65 (1.55-1.80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	8 (6-10)	8 (6-10)
Franco arenoso	43 (40-47)	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	12 (9-15)
Franco	47 (43-49)	1.40 (1.35-1.50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	17 (14-20)
Franco arcilloso	49 (47-51)	1.35 (1.30-1.40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	19 (16-22)	19 (16-22)
Arcilloso arenoso	51 (49-53)	1.30 (1.25-1.35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	21 (18-23)	21 (18-23)
Arcilloso	53 (51-55)	1.25 (1.20-1.30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	23 (20-25)	23 (20-25)

Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. &amp; Cañamero, M. 2017)

Hay otros autores que consideran que tiene valores de porosidad en suelo arcilloso entre 53% - 61%, el franco 47% - 53% y arenoso 30% - 47%.

### 2.2.4.3. Humedad aprovechable total (HAT)

Conocido como humedad útil, agua disponible total en la capa enraizada del suelo, humedad disponible, reserva útil, etc; .se considera Humedad aprovechable a la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). La expresión que lo representa es la siguiente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$HAT(\%) = \theta_{cc}(\%) - \theta_{pmp}(\%) \quad (2)$$

Donde:

- HAT (%): es conocido como humedad aprovechable total (Vol %),
- $\theta_{cc}$  (%): contenido de humedad o capacidad de campo, en base a volumen de agua (Vol %)
- $\theta_{pmp}$  (%): es el contenido de humedad a punto de marchitez permanente, en base a volumen de agua (Vol %).

Esta ecuación se podría expresar en función de lámina de riego.

$$La = \left[ \frac{\theta_{cc}(\%) - \theta_{pmp}(\%)}{100} \right] * \left[ \frac{D_{ap} * Prof}{\rho_w} \right] \quad (3)$$

Donde:

- La: Lámina de agua aprovechable total en la zona de raíces del suelo (cm),
- $\theta_{mcc}(\%)$  : Capacidad de campo en base a masa o peso de agua (%),
- $\theta_{mpmp}(\%)$  : Punto de marchitez permanente en base a masa o peso de agua (%),
- Prof : Profundidad o espesor de capa enraizada del suelo (cm),
- $D_{ap}$  : Densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>), y
- $\rho_w$  : Densidad del agua, equivalente a 1 g/cm<sup>3</sup>

El agua no es igual de aprovechable en toda la longitud radicular, como va disminuyendo la humedad del suelo, el cultivo realiza más esfuerzo para extraer agua del suelo, por lo tanto, afecta la producción, al regar el agotamiento no debe ser mayor del 40 al 60% de la humedad aprovechable total con el objetivo de mantener un apropiado nivel de humedad para los cultivos si es que es riego por inundación. Si es riego por aspersión se considerar el agotamiento mínimo, y si es que se trata de un riego por goteo debe ser en lo posible cero, al menos hasta alcanzar la etapa de maduración según el cultivo, de manera práctica para un riego por gravedad se tiene el criterio de aplicar el riego cuando hay un descenso o agotamiento del 50% de la humedad aprovechable total de la siguiente manera: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$L_{riego} = 0.5 * La \quad (4)$$

Donde:

- $L_{riego}$ : es la lámina neta de riego, expresada en (cm)
- La: se considera a la humedad aprovechable total o agua disponible total (cm).

#### 2.2.4.4. Volumen de agua disponible total en la capa de raíces

Con la lámina de agua aprovechable, se puede obtener el volumen de agua disponible total en la capa de raíces. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$La = \left[ \frac{\theta_{cc}(\%) - \theta_{pmp}(\%)}{100} \right] * \left[ \frac{D_{ap} * Prof}{\rho_w * 100} \right] \quad (5)$$

Entonces, si tenemos La expresada en mm, el volumen de agua disponible (VAD) expresado en m<sup>3</sup>/ha está dado por la relación:

$$(V_{AD}) = 10 * La \quad (6)$$

Donde:

- La: es la Lámina de agua disponible total, (mm),
- VAD: es el volumen de agua disponible total en la zona de raíces, (m<sup>3</sup>/ ha).

Relación entre la profundidad radicular, fracción del agua fácilmente disponible en el suelo (f) y la humedad fácilmente aprovechable (HFA) para diferentes texturas de suelo y cultivo, dependiendo de la evapotranspiración potencial si es que esta entre 5 a 6 mm por día, pero si es que la evapotranspiración es de 3 a 4mm por día o menos se aumenta en 30 %. Cuando la evapotranspiración es de 8 mm por día o más se reduce los valores en un 30 % (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

**Tabla 5:**

Valores para la evapotranspiración potencial de 5 a 6 mm/día.

Cultivos	Prof. raíces (m)	Fracción del agua fácilmente disponible en el suelo (f)	Humedad fácilmente aprovechable (HAF) para diferentes texturas(mm/m)		
			Fina	Mediana	Gruesa
Alfalfa	1.0 – 2.0	0.55	110	75	35
Rye Grass (heno)	0.3 – 0.6	0.35	70	50	20
Maíz	1.0 – 1.7	0.6	120	80	40
Papa	0.4 – 0.6	0.25	50	30	15

Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

#### 2.2.4.5. Frecuencia de riego (Fr),

también llamado Intervalo de Riego (Ir), es el tiempo que trascurren entre riegos seguidos, hay factores que afectan este tiempo como el suelo, cultivo, clima, profundidad de raíz, precipitación, la evapotranspiración potencial, entre otros. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$Fr = \frac{La}{ETP - Pe} \quad (7)$$

Donde:

- Fr: Frecuencia de riego (días)
- La: Lámina de agua a reponer (mm)
- ETP: Evapotranspiración potencial media en el período considerado (mm/día)
- Pe: Precipitación efectiva media, en el periodo considerado (mm/día)

En muchos contextos ya se tiene determinado el intervalo de riego por diferentes condiciones como la operación del sistema y no por necesidades del cultivo, por lo tanto, se determinará la lámina de agua necesaria para restituir los niveles óptimos de humedad, se expresaría así: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$La = Fr * (ETP - Pe) \quad (8)$$

#### 2.2.4.6. Precipitación efectiva (Pe)

Se define como precipitación efectiva (Pe) al volumen de agua de lluvia parcial utilizado por las plantas para cubrir sus necesidades hídricas para su normal desarrollo.

Existen varios métodos empíricos para determinar la precipitación efectiva (Pe) como el Water Power Resources Service, Bureau of Reclamation y el Servicio de Conservación de Suelos; pero en este caso se verá este último.

### 2.2.4.6.1. Método del servicio de conservación de suelos

Se considera el método más completo, formulado por el Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU, establecido por la precipitación media mensual, la evapotranspiración media mensual y la lámina neta de riego, en el cuadro siguiente se presenta la precipitación efectiva en función a la precipitación del mes para una lámina neta de riego  $dn = 75$  mm, también tenemos los valores promedio con un factor mayor que la unidad, cuando  $dn > 75$  mm y menor de la unidad cuando  $dn < 75$  mm.

Cuando se realiza el análisis de una manera indirecta se controla la efectividad de la precipitación, pues varía la relación lluvia-escurrimiento.

$$P_{ef} = (P \times (125 - 0.2 \times 3 \times P)) / 125 \quad \text{para } P \leq 250 / 3 \text{ mm}$$

$$P_{ef} = 125 / 3 + 0.1 \times P \quad \text{para } P > 250 / 3 \text{ mm}$$

Estos cálculos con el método del servicio de conservación de suelos también se pueden realizar utilizando el software CROPWAT 8.0 desarrollado por la FAO en el año 2006.

**Tabla 6:**

Factor de ajuste para la precipitación media mensual

dn (mm)	factor	dn (mm)	factor	dn (mm)	factor
10.000	0.620	31.250	0.818	70.000	0.990
12.500	0.650	32.000	0.826	75.000	1.000
15.000	0.676	35.000	0.842	80.000	1.004
17.500	0.703	37.500	0.860	85.000	1.008
18.750	0.708	40.000	0.876	90.000	1.012
20.000	0.728	45.000	0.905	95.000	1.016
22.500	0.749	50.000	0.930	100.000	1.020
25.000	0.770	55.000	0.947	125.000	1.040
27.500	0.790	60.000	0.963	150.000	1.060
30.000	0.808	65.000	0.977	175.000	1.070

Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

La precipitación es un elemento muy variable; Para el riego fundamentalmente se tiene en cuenta el valor económico del cultivo, es por ello que cuando se tiene inversiones considerables se recomienda trabajar con una probabilidad del 80 %, es decir que cada diez años puede haber una precipitación mensual menor de lo previsto, para pasturas se puede considerar probabilidades menores.

**Tabla 7:**

Precipitación efectiva (USDA, SCS)

Lluvia media Mensual mm	Uso consuntivo medio mensual mm													
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
	Precipitación efectiva media mensual (mm)													
12.5	7.5	8.0	8.7	9.0	9.2	10.0	10.5	11.2	11.7	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
25.0	15.0	16.2	17.5	18.0	18.5	19.7	20.5	22.0	24.5	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
37.5	22.5	24.0	26.3	27.5	28.2	29.2	30.5	33.0	36.2	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5
50.0	25.0	32.2	34.5	35.7	36.7	39.0	40.5	43.7	47.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
62.5	a 41.7	39.7	42.5	44.5	46.0	48.5	50.5	53.7	57.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
75.0		46.2	49.7	52.7	59.0	57.5	60.2	63.7	67.5	73.7	75.0	75.0	75.0	75.0
87.5		50.0	56.7	60.2	63.7	66.0	69.7	73.7	77.7	84.5	87.5	87.5	87.5	87.5
100.0		a 60.7	63.7	67.7	72.0	74.2	78.7	83.0	87.7	95.0	100.0	100.0	100.0	100.0
112.5			70.5	75.0	80.2	82.5	87.2	92.7	98.0	105.0	111.0	112.0	112.0	112.0
125.0			75.0	81.5	87.7	90.5	95.7	102.0	108.0	115.0	121.0	125.0	125.0	125.0
137.5			a 122	88.7	95.2	98.7	104.0	111.0	118.0	126.0	132.0	137.0	137.0	137.0
150.0				95.2	102.0	106.0	112.0	120.0	127.0	136.0	143.0	150.0	150.0	150.0
162.5				100.0	109.0	113.0	120.0	128.0	135.0	145.0	153.0	160.0	162.0	162.0
175.0				a 160	115.0	120.0	127.0	135.0	143.0	154.0	164.0	170.0	175.0	175.0
187.5					121.0	126.0	134.0	142.0	151.0	161.0	170.0	179.0	185.0	187.0
200.0					125.0	133.0	140.0	145.0	158.0	168.0	178.0	188.0	196.0	200.0
225.0					a 197	144.0	151.0	160.0	171.0	182.0				
250.0						150.0	161.0	170.0	183.0	194.0				
275.0						a 240	171.0	181.0	194.0	205.0				
300.0							175.0	190.0	203.0	215.0				
325.0							a 287	198.0	213.0	224.0				
350.0								200.0	220.0	232.0				
375.0								a 331	225.0	240.0				
400.0									a 372	247.0				
425.0										250.0				
										a 412				
450.0	25.0	50.0	75.0	100.0	125.0	150.0	175.0	200.0	225.0	250.0				

Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

#### 2.2.4.7. Eficiencia, láminas netas, láminas brutas y tiempo de riego

El tema de eficiencia se verá a detalle más adelante, pero es necesario ya hablar de eficiencia para seguir entender mejor los conceptos de para hallar de las necesidades netas y brutas del riego, en muchas ocasiones las necesidades de riego calculadas ( $L_a$ ) no son suficientes y se requiere cantidades mucho mayores ( $L_b$ ), es por ello que se compensa las pérdidas por aplicación dependiendo del método de riego utilizado, es por ello que se utiliza la relación entre la lámina neta o requerida ( $L_n$ ) y la lámina de agua necesaria de aplicar o lamina bruta ( $L_b$ ) y así realizar la compensación de pérdidas, es llamada eficiencia de aplicación ( $E_a$ ). (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$E_a = \frac{L_n}{L_b} \quad (9)$$

Donde:

- $E_a$ : es la eficiencia de aplicación
- $L_n$ : lamina requerida, lamina neta o demanda del cultivo dada en (mm)
- $L_b$ : Lamina bruta o demanda del proyecto (mm)

Entonces de la ecuación podemos despejar la lámina necesaria para el riego.

$$L_b = \frac{L_n}{E_a} \quad (10)$$

Para el tiempo neto de riego ( $T_r$ ) o tiempo de aplicación, e puede obtener con la siguiente relación: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$T_r = \frac{L_n}{I_b} \quad (11)$$

Donde:

- ( $L_n$ ): Lámina neta de riego (mm).
- ( $I_b$ ): Velocidad de infiltración básica (mm/min), (mm/hora).

Al no tener la información suficiente de campo se puede hacer uso de los siguientes datos representativos de algunas propiedades físicas del suelo en relación a la textura.

**Tabla 8:**

Datos representativos de algunas propiedades físicas del suelo.

TEXTURA DEL SUELO	Velocidad de infiltración básica (mm/hora)	Densidad aparente (Dap) (g/cm <sup>3</sup> )	Capacidad de campo ( $\theta_{mcc}$ ) (masa %)	Punto de marchitez permanente ( $\theta_{mpmp}$ ) (masa %)	Agua disponible total (Vol %)
Arenoso	(20 - 300)	1.70 (1.60-1.80)	11 (7 - 14)	3 (1 - 5)	12 (9 - 16)
Franco arenoso	(15 - 70)	1.50 (1.45-1.60)	14 (12 - 17)	5 (3 - 7)	14 (13 - 16)
Franco	(10 - 25)	1.40 (1.35-1.45)	21 (16 - 24)	9 (7 - 11)	15 (12 - 19)
Franco arcilloso	10 (3 - 18)	1.35 (1.30-1.40)	26 (23 - 30)	12 (10 - 14)	19 (16 - 22)
Arcilloso	1.0 (0.1 - 2.0)	1.20 (1.15-1.25)	34 (30 - 38)	16 (14 - 18)	22 (18 - 25)

Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

A continuación, se presenta algunos Períodos sensibles al déficit de agua en algunos cultivos:

- Alfalfa: Inmediatamente después del corte (y para la producción de semillas, en la floración).
- Maíz: Floración es más que la formación del grano; la floración es muy sensible si no hubo un déficit anterior de agua.
- Papa: Período de estolonización e iniciación del tubérculo, formación en el período vegetativo inicial y maduración. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

### 2.2.5. Movimiento del Agua en el Riego

Es de suma importancia entender y comprender el movimiento de agua en el riego ya que con ello se podría lograr una buena eficiencia, al efectuar el riego existe dos fenómenos

importantes, el desplazamiento sobre la superficie del agua (avance) y la (infiltración) que consiste en la penetración del agua al interior del suelo; Para caso prácticos en surcos o melgas cerradas que es en esta ocasión las que presentan en los terrenos de cultivo, la relación entre la infiltración y el avance puede analizarse con la siguiente ecuación de balance de agua. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$6Q * t_a = B * (h_l + h_s) * X \quad (12)$$

Donde:

- Q: Es el caudal que ingresa al surco o melga.
- Ta: tiempo de aplicación (min).
- B: es el ancho del espejo de agua o separación entre surcos o melga (m).
- hl: es la lámina infiltrada de agua promedio lo largo de la melga o surco (cm).
- hs: Lámina promedio de agua sobre la superficie (cm).
- X: es la longitud de la melga o surco cubierta por agua (m).

Matemáticamente se puede expresar como:

Agua que Ingresa = Agua Infiltrada + Agua sobre la superficie del surco o melga o

Agua que ingresa = Agua infiltrada + Agua sobre la superficie + Agua que sale

En casos prácticos para la infiltración acumulada se puede utilizar:

$$I_{cum} = \frac{Q * T * x}{B * L * x} \quad (13)$$

### 2.2.5.1. El avance del agua en el riego por gravedad

El avance de riego se determina por factores como la pendiente del surco o melga, caudal de ingreso, forma y tamaño del surco o melga, rugosidad de la superficie del terreno, humedad del suelo y Características fisicoquímicas del terreno; puede expresarse como:

$$X = pT_x^m \quad (14)$$

Donde:

- X: Es la longitud de avance (m) al tiempo  $T_x$  que esta entre 0-L
- P: es el coeficiente empírico de la función de avances la cual depende de la pendiente longitudinal y rugosidad de la superficie.
- $T_x$  : Conocido como tiempo de avance (min).
- m: es el coeficiente empírico de avance que se encuentra entre 0-1, la cual tiene dependencia de la capacidad de infiltración del suelo.
- L: longitud del suco o melga.

La prueba de avancen permite obtener información sobre el avance- tiempo, regularmente se realiza, para realizar esta prueba se tiene que seleccionar el lugar donde se realizara la prueba, el surco o melga se separa cada 10 o 20 metros según su longitud. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

**a)** Desarrollo de avance con el método analítico o matemático.

Iniciamos con el cálculo de los parámetros de la función, al hacer la linealización obtenemos:

$$\log X = \log p + m * \log T_x \quad (15)$$

que puede ser escrita bajo la forma de un modelo lineal:

$$Y = N + m * Z \quad (16)$$

donde tenemos expresiones para cada modelo lineal típico:

$$Y = \log x \quad (17)$$

$$N = \log p \quad (18)$$

$$Z = \log T_x \quad (19)$$

Al aplicar mínimos cuadrados obtenemos:

$$m = \frac{n \sum Y_i Z_i - \sum Y_i \sum Z_i}{n \sum Z_i^2 - (\sum Z_i)^2} \quad (20)$$

$$N = \frac{\sum Y_i}{n} - m \frac{\sum Z_i}{n} \quad (21)$$

$$N = Y - mZ \quad (22)$$

$$p = \text{Antilog } N \quad (23)$$

Luego tenemos que con los parámetros m y p, se puede definir la función de avance

Para el cálculo del coeficiente de determinación (r<sup>2</sup>):

$$r^2 = \frac{(\sum Y_i Z_i - \frac{\sum Y_i \sum Z_i}{n})^2}{(\sum Z_i^2 - \frac{(\sum Z_i)^2}{n})(\sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n})} \quad (24)$$

**b)** Determinación del caudal máximo no erosivo para un surco o melga:

para el cálculo del caudal máximo no erosivo se tiene la siguiente ecuación.

En (Ipm)

$$Q = \frac{38}{S} \quad (25)$$

En (l/s)

$$Q = \frac{0.63}{S} \quad (26)$$

Donde:

- Q: Es el caudal máximo no erosivo teórico
- S: pendiente de la melga o fondo del surco, (%)

En una melga o surco la velocidad máxima del agua debe ser para suelos erosivos de 0.15m/s, para suelos menos erosivos 0.18 m/s; entonces al realizar la prueba de avance en

campo se puede observar si es que cumple con el caudal máximo erosivo, teniendo siempre en cuenta las velocidades. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

### **2.2.5.2. Movimiento del agua en el riego a presión**

Básicamente en este estudio se enfocará en el análisis del riego por aspersión, donde el objetivo es buscar un humedecimiento uniforme, en la aspersión y microaspersión el agua es esparcida en forma de lluvia, es por ello que se debe tener presente en el diseño del sistema de riego que la intensidad de lluvia debe ser igual o menos que la tasa de velocidad de infiltración básica del suelo, con el único fin de evitar encharcamientos o escurrimientos superficiales. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

### **2.2.5.3. Infiltración**

Es indispensable conocer las características de un suelo y una de ellas es la infiltración, para determinar el tiempo de riego apropiado, la infiltración se puede considerar como la entrada vertical (gravitacional) del agua, pero hay factores que pueden influir en la velocidad de infiltración. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

- Las características físicas del suelo
- Depende de la carga hidrostática de la prueba
- Materia orgánica y carbonatos presentes en el suelo
- Humedad del suelo
- Método de riego y manejo del agua
- Contenido microbiano del suelo
- Grado de temperatura del agua y del suelo

La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua infiltrada y el tiempo que toma para infiltrarse dicha lamina. se expresa en las unidades de: cm/hora, cm/min, mm/hora, mm/minuto. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

#### 2.2.5.4. Velocidad de Infiltración Instantánea (i)

Es conocida, simplemente, como velocidad de infiltración. Se puede decir que es la velocidad de ingreso vertical de agua al suelo, cuando este se cubre con una delgada lámina de agua, la velocidad de infiltración describe en cualquier punto una función exponencial. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$i = a T_o^b \quad (27)$$

Donde:

- i: es la velocidad de infiltración en unidades de mm/hora, cm/hora, etc
- $T_o$ : es el tiempo de oportunidad es decir el tiempo de contacto del agua con el suelo y se expresa en minutos u horas.
- a: coeficiente que representa la velocidad de infiltración para  $T_o=1$  minuto.
- b: exponente variable entre 0 y -1.

#### 2.2.5.5. Infiltración acumulada ( $I_{cum}$ )

Llamada lámina infiltrada acumulada, la acumulación del agua en el suelo por un determinado espacio de tiempo. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$I_{cum} = A * T_o^B \quad (28)$$

Donde:

$$A = \frac{a}{b+1} \quad (29)$$

$$B = b+1 \quad (30)$$

#### 2.2.5.6. Velocidad de infiltración básica (ib)

Es conocida como infiltración básica, es el valor instantáneo de la velocidad de infiltración, este hecho sucede cuando la variación de la velocidad de infiltración (i) con

respecto a un periodo de tiempo (t) estándar es menos o igual que el 10% de su valor. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

### 2.2.5.7. Velocidad de infiltración promedio (ip)

Es conocida como infiltración promedio, la cual consiste en la relación entre la infiltración acumulada o lamina infiltrada acumulada (icum), y el tiempo acumulado (To).

$$ip = \frac{I_{cum}}{T_0} \quad (31)$$

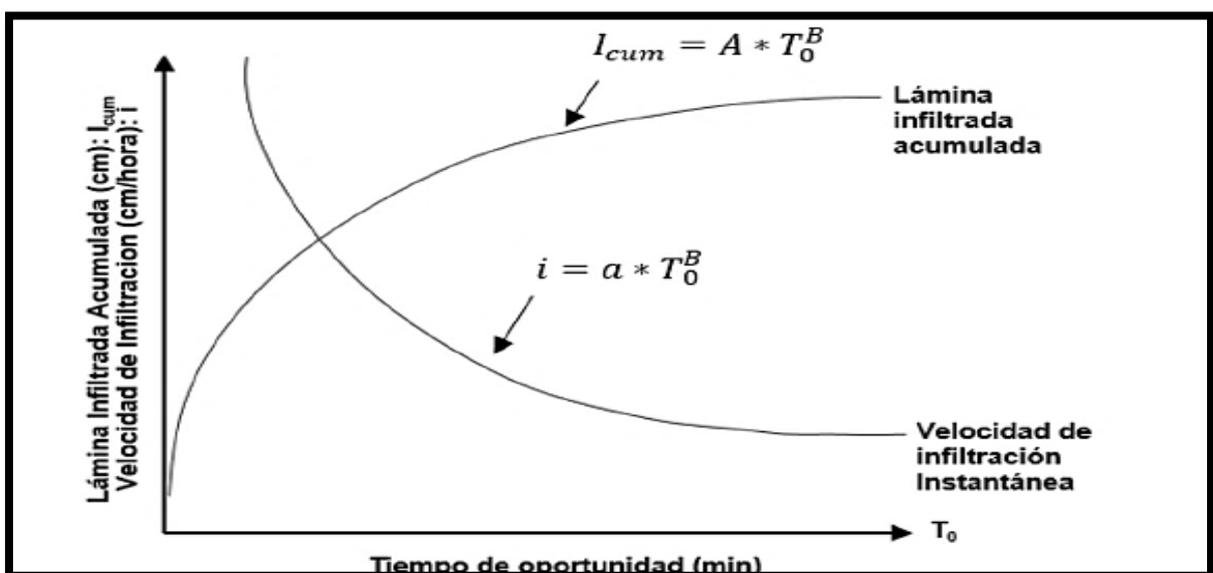
Donde:

- To: es el tiempo de oportunidad (min)
- Icum: infiltración acumulada (mm)

En el gráfico se puede observar la lámina infiltrada y la velocidad de infiltración instantánea en función del tiempo de oportunidad. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

**Figura 3:**

*Lamina infiltrada y la velocidad de infiltración instantánea.*



Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

## **a) Método de determinación de la velocidad de infiltración (método de los cilindros infiltrómetros)**

Para la realización de este método se tiene los siguientes pasos:

### **a.1) Descripción y selección del lugar**

Las pruebas se realizan en el terreno del cual se desea conocer las características de infiltración, también es necesario conocer la textura de suelo, estructura (densidad aparente y contenido de humedad del suelo y también revisando si el terreno ha sido cultivado, cosechado recientemente y otras características secundarias. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

### **a.2) Materiales usados**

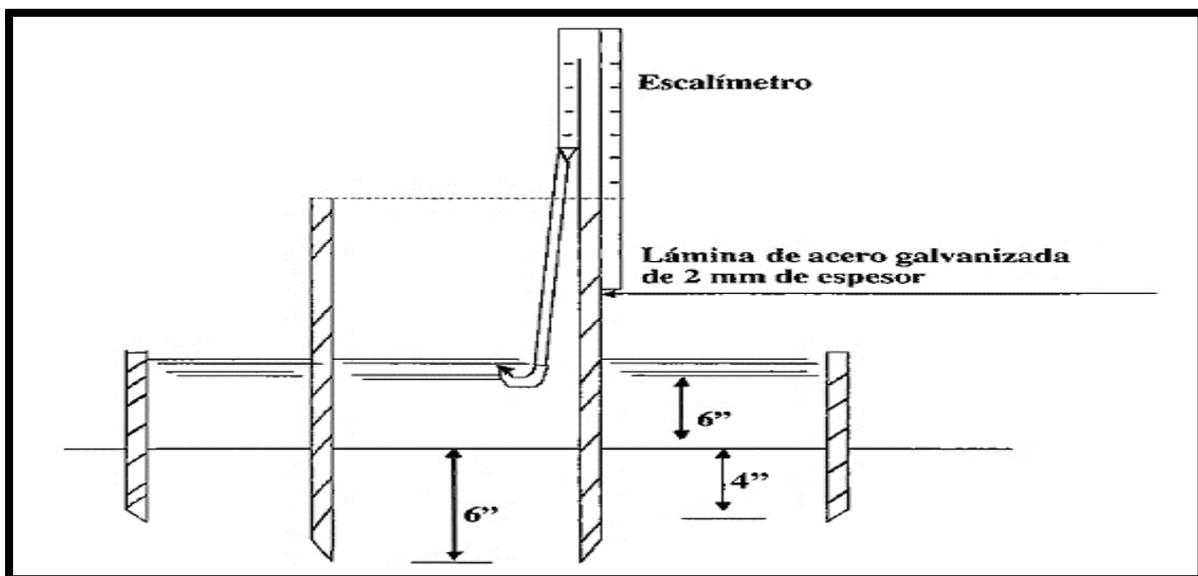
- Cilindros infiltrómetros de acero o fierro galvanizado de 2 mm de espesor con una altura de entre 40 - 25 cm y un diámetro de entre los 25 – 45 cm para los cilindros interior y exterior respectivamente.
- Una plancha metálica o tablones de madera.
- Escalímetro o regla graduada.
- Cinta adhesiva o ganchos sujetadores de la regla graduada.
- Cronómetro.
- Comba.
- Nivel de carpintero.
- Hoja de registro.
- Baldes.
- Lápices o marcador.

### a.3) Realización de la prueba con los cilindros infiltrómetros.

- Elegir el lugar adecuado para la prueba
- Limpiar y nivelar el terreno e instalar el cilindro exterior con la ayuda de una comba, golpeando el tablón colocado sobre el cilindro introduciéndolo unos 15 cm aproximadamente, realizamos el mismo paso con el cilindro interior. Una vez instalados los cilindros se coloca una regla graduada fijándola adecuadamente a la pared del cilindro interior para realizar las lecturas de carga de agua; el nivel de agua de los dos cilindros debe ser el mismo anulando así la infiltración lateral.
- El llenado de los cilindros es de una lámina entre 10 – 20 cm; preferible hacerlo a la vez, y si es que se realiza por separado es recomendable cubrir el cilindro interior con una bolsa plástica y al momento de iniciar la medición retirarla.

#### Figura 4:

*Cilindros usados para medir la variación del nivel de agua.*



Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

- La lectura del nivel de agua será al inicio con intervalos de 1 a 2 minutos aproximadamente, luego se irán distanciando gradualmente cada 5, 10, 15, 20, 30

minutos; hasta finalmente completar la prueba. Se llenará nuevamente cuando se infiltre una lámina alrededor de 30 cm.

- La duración de la prueba no debe ser menor de 2 horas, salvo en suelos de textura gruesa en los que puede ser sustantivamente menor. En suelos francos y arcillosos, la duración de la prueba debe ser un poco más de 2 horas incluso hasta las 5 horas. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

#### **a.4) Cálculo y registro de datos**

Los datos de campo serán llenados en cuadros, donde se tiene el tiempo de oportunidad en minutos y la lámina infiltrada.

#### **a.5) Evaluación de los datos de infiltración**

En este caso la evaluación de los datos será con la función matemática respectiva y su coeficiente de determinación ( $r^2$ ) utilizando el método analítico.

#### **a.6) Determinación de los parámetros de la función de la velocidad de infiltración y de la lámina infiltrada acumulada con el Método analítico.**

Para determinar los parámetros se tiene los datos recopilados en campo como la velocidad de infiltración (cm/hora) y tiempo acumulado (min). Y el procedimiento es similar a lo utilizado en la función de avance. Teniendo la información de campo de la prueba de infiltración se puede proceder al cálculo de los parámetros. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

Se empieza con la función de la lámina infiltrada acumulada ( $I_{cum}$ )

$$I_{cum} = A * T_0^B \quad (32)$$

El cálculo de los parámetros se hace mediante la técnica de los mínimos cuadrados y para lo cual se utilizan las siguientes relaciones:

$$B = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (33)$$

Donde:

$$Y = \log I_{cum} \quad (34)$$

$$X = \log T_o \quad (35)$$

Para calcular el parámetro A, primero se calcula A<sub>0</sub> mediante la relación:

$$A_0 = \frac{\sum Y_i}{n} - B \frac{\sum X_i}{n} \quad (36)$$

Donde:

$$A = \text{anti Log} (A_0) \quad (37)$$

Para conocer el grado de confiabilidad del modelo hallado, se calcula su coeficiente de determinación (r<sup>2</sup>), mediante la relación:

$$r^2 = \frac{(\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n})^2}{(\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n})(\sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n})} \quad (38)$$

Para el cálculo de los parámetros de la función de la velocidad de infiltración instantánea, dado el modelo:

$$i = a T_o^b \quad (39)$$

El problema consiste en calcular los parámetros a y b, para lo cual se utiliza la técnica de los mínimos cuadrados y se procede en forma similar al caso anterior.

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (40)$$

$$a_0 = \frac{\sum Y_i}{n} - b \frac{\sum X_i}{n} \quad (41)$$

Donde:

$$a = \text{anti Log} (a_0) \quad (42)$$

Para conocer el grado de confiabilidad del modelo hallado, se calcula su coeficiente de determinación ( $r^2$ ), mediante la relación, como en la fórmula (36):

### **2.2.6. Necesidades de agua de los cultivos**

Para lograr este objetivo se puede recurrir a la utilización de fórmulas empíricas y mediciones directas en los terrenos de cultivo. Tal vez los métodos empíricos se utilizan en el cálculo de la evapotranspiración que es la suma de la transpiración de la planta y de la evaporación del suelo y planta. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

- Evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>): según la FAO (1976) define: "la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas verdes de 8 a 15 cm de altura uniforme, de crecimiento activo, que sombream totalmente el suelo y en capacidad de campo". se puede calcular teniendo los datos de clima, suelo y utilizando las fórmulas empíricas. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)
- Evapotranspiración de cada especie cultivada (ET<sub>c</sub>): se determina básicamente por el coeficiente de cultivo K<sub>c</sub> que según la (FAO 1976): " es la relación entre la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) y una determinada especie cultivada, libre de enfermedades, que crece en un campo extenso, en condiciones óptimas de suelo, con un potencial de máxima producción ". (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

#### **2.2.6.1. Cálculo de la evapotranspiración**

##### **2.2.6.1.1. Evapotranspiración potencial (ETP)**

Para este cálculo utilizaremos los datos meteorológicos como temperatura, humedad, radiación, altitud y precipitación. En este caso se utilizará la fórmula de HARGREAVES ya que es muy común su utilización es la cierra peruana donde tenemos una evidente radiación solar. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$ETP = [0.34 Ra (0.40 + 0.024 t)] * [1.35 \sqrt{1 - Hr}] * [1 + 0.04 * \frac{EL}{1000}] \quad (43)$$

Donde:

- ETP: es la evapotranspiración potencial, mm/día
- Ra : designación para la radiación extraterrestre media diaria, mm/día
- Hr : es la Humedad relativa media mensual, %/100
- T : temperatura media mensual, °C
- EL : se considera como la Altitud, m

**Tabla 9:**

Radiación extraterrestre media diaria (RMD) expresada en equivalente de evapotranspiración (mm/día): Ra

L Sur	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
4°	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
6°	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
8°	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
10°	16.4	16.3	15.5	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5

Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

Cuando no se tiene información meteorológica adecuada o en casos prácticos se puede utilizar la siguiente tabla que son para zonas altoandinas peruanas. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

**Tabla 10:**

Evapotranspiración potencial (ETP) en zonas alto andinas del Perú.

ZONAS	Evapotranspiración potencial (ETP)
Valles (de 1,000 a 2,000 msnm)	4.0 mm / día
Zonas Quechua (de 2,000 a 3,000 msnm)	3.0 mm / día
La Jalca (de 3,000 msnm o más)	2.5 mm / día

Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

### **2.2.6.1.2. Evapotranspiración máxima (ETm)**

Se puede definir como el máximo consumo de agua que se puede dar en un momento determinado del ciclo vegetativo de un cultivo de óptimas condiciones, es decir humedad, suelo, salinidad, y más. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

### **2.2.6.1.3. Evapotranspiración real o actual (ETa)**

También es llamada evapotranspiración de cultivo (ETc) o uso consuntivo de agua de un cultivo, se produce en cualesquiera que sean las condiciones del suelo y cultivo. Para determinar el consumo de agua de un cultivo en cualquier lugar de nuestro proyecto y cualquier estado de desarrollo, se tiene la obligación de usar el coeficiente de cultivo o coeficiente de uso consuntivo (Kc) obteniéndolo de la siguiente manera. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$Kc = \frac{ETc}{ETP} \quad (44)$$

Donde:

- Kc: coeficiente de cultivo
- ETc: evapotranspiración de cultivo mm/día.
- ETP: evapotranspiración potencial mm/día.

Este coeficiente Kc es variable durante su periodo vegetativo, aumentando paulatinamente desde la germinación hasta el máximo momento de floración y crecimiento de grano, una vez que el grano de la planta se forma esta demanda va disminuyendo. La FAO, separa al cultivo en cuatro fases con su respectivo coeficiente Kc. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

- Fase inicial: desde germinación y crecimiento inicial hasta el 10% de cobertura vegetal.

- Fase de desarrollo: desde el final de la fase inicial hasta el 70% a 80% de cobertura vegetal.
- Fase de fructificación: desde el final de la fase de desarrollo hasta inicio de maduración del fruto.
- Fase de maduración: desde el inicio de maduración hasta plena maduración o recolección.

Por lo tanto, experimentalmente los valores de Kc se obtienen:

$$ET_c = K_c * ETP \quad (45)$$

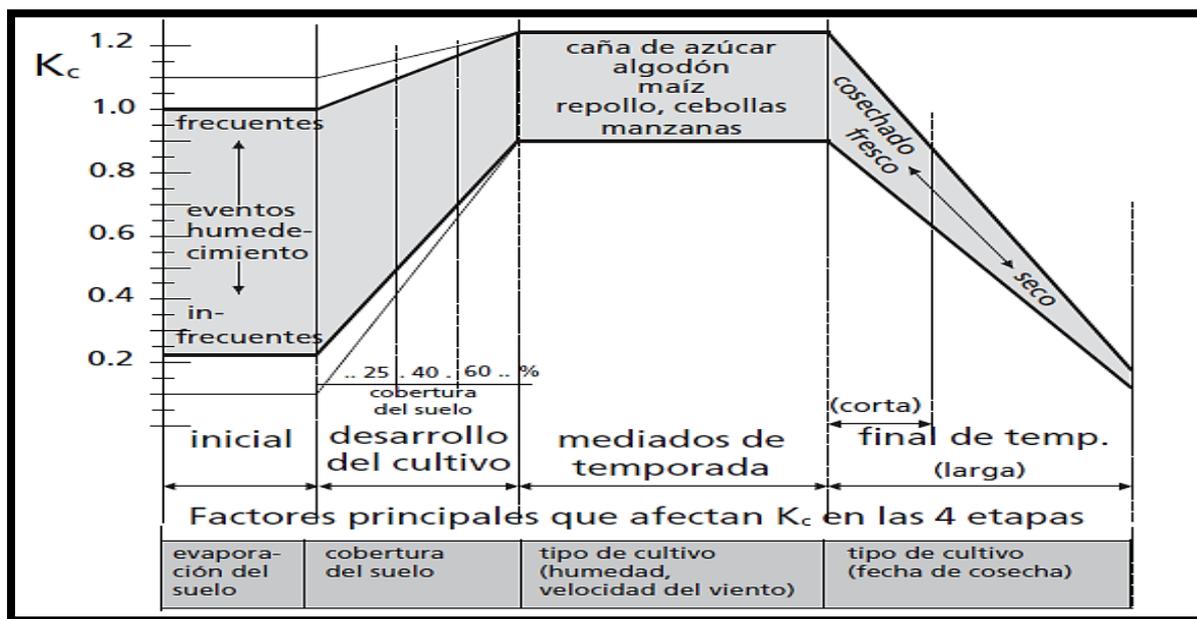
#### **2.2.6.1.4. Coeficiente de cultivo (Kc)**

Conocido como factor de cultivo, para la selección de coeficiente de cultivo (Kc), para cada sembrío, se necesita algunos datos definidos como el tiempo de siembra, cosecha y el ciclo vegetativo del cultivo que está relacionado a la variedad de la planta, el lugar de siembra, etc. Para el cálculo, dividimos el total del crecimiento del cultivo entre el período vegetativo en meses, para los valores del kc se puede interpolar para cada etapa del ciclo, entonces para hallar el Kc del primer mes, se pueden tomar los valores extremos. (Rengifo, G. 2011)

Existen también tablas con valores de la duración de la etapa de crecientito, el tamaño de cada cultivo y el Kc para cada cultivo predestinadas dadas por la FAO, teniendo en cuenta la ubicación del cultivo que pueden ser de gran ayuda para el cálculo. (Allen, R., Pereira L., Raes, D. & Smith, M. 2006)

**Figura 5:**

Rangos típicos del valor de  $K_c$  para las cuatro etapas del crecimiento.



Fuente: (Allen, R., Pereira L., Raes, D. & Smith, M. 2006)

**Tabla 11:**

$K_c$  para diferentes cultivos según el clima y la fase de crecimiento

Cultivos	Humedad relativa	HR <sub>mín</sub> > 70%		HR <sub>mín</sub> < 70%	
	Viento (m/seg)	0 – 5	5 – 8	0 – 5	5 – 8
	Fase de desarrollo	K <sub>c</sub>			
Alfalfa	3	0.95	1.0	1.2	1.25
	4	0.9	1.05	1.15	1.2
Rye Grass (heno)	3	0.95	1.0	1.15	1.15
	4	1.05	1.1	1.1	0.55
Maíz	3	1.05	1.1	1.15	1.2
	4	0.95	1.0	1.05	1.1
Papa	3	1.05	1.0	1.15	1.2
	4	0.7	0.7	0.75	0.75

Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

### 2.2.6.2. Cédula de cultivo

Se puede definir como la relación entre cultivos que pueden crecer en una región teniendo en cuenta algunos parámetros como suelo, clima, recurso hídrico disponible, así como

los conocimientos previos de siembra de los agricultores; todo esto está acompañado de un calendario agrícola de siembra y cosecha dependiendo del cultivo: (Rengifo, G. 2011)

- Cultivos permanentes: en estos cultivos permanentes se puede encontrar periodos vegetativos mayores a un año, mayormente son frutales.
- Cultivos temporales: en estos cultivos temporales o anuales se pueden encontrar periodos vegetativos solo de algunos meses, como algunos granos, cereales, hortalizas.

### **2.2.7. Demanda de agua de los cultivos o requerimiento neto**

Para determinar la demanda de agua del cultivo lo principal a tener en cuenta es la evapotranspiración real o actual (ETA), que es la cantidad de agua requerida por las plantas para satisfacer sus necesidades fisiológicas, pero como la planta forma parte de un microsistema donde hay entradas “precipitaciones” y salidas “evapotranspiración” de agua, lo cual significa que está expuesta a un balance hídrico. Para planificación de proyectos de irrigación, donde se desea conocer la demanda de los cultivos; luego, la demanda total de agua del proyecto, se puede expresar de la siguiente manera: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$D_a = \text{ETA} - P_e \quad (46)$$

Donde:

- $D_a$ : Demanda de agua de los cultivos para el período considerado (mm)
- ETA: Evapotranspiración real o actual (mm)
- $P_e$ : Precipitación efectiva (mm).

### **2.2.8. Demanda de agua del proyecto o requerimiento bruto**

Para un proyecto de riego es importante identificar tres puntos clave; cómo, cuánto y cuándo proporcionar la cantidad de agua de riego a la planta.

Como, se refiere a la infraestructura del riego como obras de captación, conducción, distribución, medición y el método de aplicación de riego al cultivo. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

Cuánto, nos referimos a la cantidad de agua que se debe captar para satisfacer las necesidades del proyecto, Para su cálculo, se tiene en cuenta las necesidades del cultivo, la eficiencia de operación de la infraestructura de riego y la eficiencia de aplicación del agua a los cultivos que a su vez está estrechamente ligada a la potencialidad de los recursos humanos y técnicas disponibles para el manejo del agua de riego. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

La expresión de cuando aplicar el agua de riego, se puede hablar de frecuencia de riego la cual se condiciona por las características hídricas del suelo, al uso consuntivo de las plantas y a la profundidad radicular. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

En conclusión, para calcular la demanda de agua de un proyecto de irrigación, se debe considerar todas las pérdidas resultantes del sistema de distribución del agua de riego y de la aplicación del agua al cultivo expresándolo de la siguiente manera. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

$$D_p = \frac{D_a}{E_r} \quad (47)$$

Donde:

- $D_p$ : La demanda de agua del proyecto (m<sup>3</sup>/ha)
- $D_a$ : Demanda de agua de riego del cultivo (mm).
- $E_r$ : La eficiencia de riego del proyecto.

### **2.2.9. Medición de caudales en un sistema de riego**

El caudal está definido como el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo por una sección normal determinada de una corriente líquida en este caso un canal de riego. Las expresiones del caudal son con respecto a volumen por tiempo, es decir, puede estar en litros por segundo (l/s) o en metros cúbicos por hora o por día (m<sup>3</sup>/día). Es importante tener en cuenta la importancia de conocer el caudal que fluye por un canal, y tener en cuenta que ese caudal puede tener fluctuaciones según la época del año y las condiciones meteorológicas que se pueden presentar. Después de tener conocimiento del caudal transportado se puede hablar de un caudal útil o disponible que puede ser conducido al lugar donde se lo requiera. (Lux, M. 2010)

#### **2.2.9.1. Métodos para la medición de caudales en canales**

Los métodos de medición de caudales de agua en canales de riego son varios, pero los más usados en investigaciones son los siguientes:

- Método del molinete o correntómetro.
- Método del flotador.
- Método volumétrico.
- Tubo de Pitot.
- Estructuras de medida como vertederos de sección rectangular, trapezoidal y rectangular. (Chiclote, O. 2017)

##### **2.2.9.1.1. Medición de caudales con el Método del Correntómetro o Molinete**

Este es uno de los métodos más utilizados para la medición de la velocidad del agua, que mide la velocidad en un punto dado de la masa de agua que transita por el canal. En el mercado existen gran variedad de correntómetros incluso digitales, se escogen dependiendo del uso y caudal que se va a medir. El equipo debe de contar con un certificado de calibración

se un laboratorio de hidráulica, en el que esta la fórmula para calcular la velocidad sabiendo el número de vueltas o revoluciones que da la hélice por unidad de tiempo. (Jimenez, J. 2017)

$$V=an+b. \tag{48}$$

Donde:

- V: es la Velocidad del agua, en (m/s).
- n: es el número de vueltas que da la hélice por unidad de tiempo, en (segundos).
- a: es el Paso Real de la hélice en metros.
- b: es la conocida Velocidad de Frotamiento en m/s.

Cuando se utiliza el correntómetro, este mide la velocidad en un solo punto, para poder obtener la velocidad media de un curso de agua es necesario en ciertos casos, medir la velocidad en dos o más puntos a distintas profundidades a lo largo de una vertical y partiendo desde la superficie del agua. Se tiene algunas profundidades en las cuales se miden velocidades con el correntómetro en relación con la altura del tirante de agua. (Jimenez, J. 2017)

**Tabla 12:**

Medición de velocidades en relación con la altura del tirante.

Tirante de agua (d)	Profundidad de lectura del Correntómetro
cm	cm
< 15	d/2
15 < d < 45	0.6 d
> 45	0.2 d y 0.8 d o 0.2 d, 0.6 d y 0.8 d

Fuente: (Jimenez, J. 2017)

Conociendo las velocidades, se procede a calcular el área (A) de la sección transversal, y luego al cálculo del caudal Q. (Jimenez, J. 2017)

$$Q=V*A \tag{49}$$

### **2.2.9.1.2. Medición de caudales con el Método del Flotador**

Este método es muy versátil para medir caudales en cauces o canales y consiste en el uso del flotador, que puede ser algún material liviano y que flote haciendo contacto con la atmósfera pero sin chocar con el fondo ni paredes del canal o donde se dese utilizar, se tiene que tener en cuenta cuando hay mucho viento para el uso de este método, en la medición de caudales con este método hay un error aproximado del 10 %, debido a que la sección del canal no tiene la misma velocidad en todos los puntos por causa de la fricción del agua con los taludes y el fondo , pero esto se puede corregir multiplicándolo al caudal por un factor de corrección; para un lecho de rio será un factor de corrección de 0.5, canal sin revestimiento(tierra) será un factor de 0.6 y para canales revestidos el factor de corrección será de 0.8. (Valverde, J. 2007)

$$Q= V*A*Fc \quad (50)$$

Donde:

- V: velocidad (m/s).
- A: área de la sección (m<sup>2</sup>).
- Fc: factor de corrección.

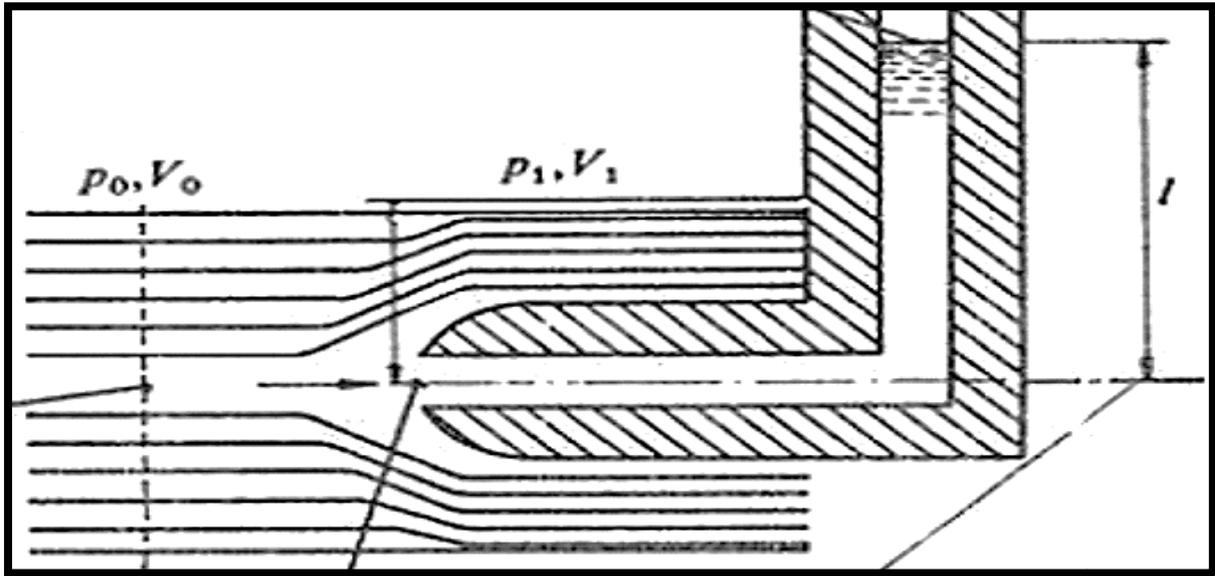
El procedimiento se torna sencillo cuando se tienen todos lo necesario y bien medido antes de comenzar para evitar equivocaciones, de la siguiente manera, se tiene que buscar un tramo del canal que será recto y con características uniformes de mínimo 10 metros, una vez hachado el flotador al canal, se mide el tiempo que tarda en recorrer todo el tramo con un cronometro, luego se prosigue midiendo el área de la sección transversal del canal.

### **2.2.9.1.3. Medición de caudales con Tubo de Pitot**

Se utiliza comúnmente en la medición de presión de estancamiento, presión remanente o presión de remando es decir que es la suma de la presión estática y de la presión dinámica, el tubo de Pitot te genera mediciones de un punto dado de la corriente de flujo. (Lux, M. 2010)

**Figura 6:**

*Tubo de Pitot.*



Fuente: (Lux, M. 2010)

$$V = \sqrt{2g\Delta L} \quad (51)$$

Donde:

- V: velocidad (m/s).
- g: aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).
- $\Delta L$ : variación de la altura en el tubo (m).

#### **2.2.9.1.4. Medición de caudales con el Método Volumétrico**

Mayormente se usa para medir pequeños caudales de agua, como en acequias de minúsculas dimensiones.

Para realizar estas mediciones es necesario contar con un depósito y saber su volumen, por ejemplo, un balde el cual es llenado de agua, cronometrando el tiempo que demore en hacerlo, esto se puede realizar de manera repetitiva de 2 a 3 veces y son promediados con el único propósito de tener una mayor exactitud de medida. (Lux, M. 2010)

#### **2.2.9.1.4. Medición de caudales con el Método de Vertederos Hidráulicos**

El uso de vertederos hidráulicos es uno de los métodos más eficientes y exactos para poder medir caudales por ser una estructura especial para pequeños cursos de agua y conductos libres, así como el control, de flujo en canales y galerías. Es necesario una buena calibración para un óptima medición ya que hay varios obstáculos que pueden restringir parcialmente su funcionalidad. (Lux, M. 2010)

#### **2.2.10. Eficiencia del sistema de riego (Efr)**

Es la relación que existe entre la cantidad de agua necesaria para el cultivo y la cantidad de agua captada desde la bocatoma, por lo general el agua suministrada desde alguna fuente natural de un sistema de riego, se transporta por un canal principal y luego derivada el agua por un canal de distribución y finalmente se deriva el agua a nivel parcela para algún cultivo del productor agrario. Es importante determinar la eficiencia de riego con el objetivo de saber la demanda de agua que requiere el proyecto de riego. La eficiencia del sistema de riego está dada por la eficiencia conducción del canal principal, eficiencia deficiencia de distribución en los canales laterales y la eficiencia de aplicación a nivel de parcela, el producto de estas tres eficiencias nos determina la eficiencia de riego de un sistema. (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

$$Efr = Efc \times Efd \times Efa \quad (52)$$

Donde:

- Efr: Eficiencia del sistema de riego
- Efc: la Eficiencias conducción
- Efd: la Eficiencia de distribución
- Efa: La Eficiencia de aplicación

También se debe analizar y añadir a la investigación la eficiencia de captación (Ec), que es de suma importancia en un proyecto de irrigación, si es que existiese deficiencias.

### **2.2.10.1. Eficiencia de captación de un sistema de riego ( $E_c$ )**

Al mencionar de la eficiencia de captación se habla de la relación entre el caudal que entra por el bocal, dependiendo de las condiciones en las que se encuentra y el caudal que se necesita para satisfacer la demanda de agua y se expresa de la siguiente manera: (Huamán, J. 2013)

$$E_c = (Q_f / Q) 100 \quad (53)$$

Donde:

- $E_c$ : es la eficiencia de captación, dada en %
- $Q_f$ : es el caudal que ingresa por el bocal hacia el canal de derivación. Este caudal depende tanto del nivel del agua de la fuente de extracción o captación como de las condiciones, características y de obstrucción del bocal.
- $Q$ : es el caudal necesario que debe entrar por el bocal hacia el canal de derivación, para cubrir la demanda de agua del proyecto.

### **2.2.10.2. Eficiencia de conducción en canales de riego ( $E_{fc}$ )**

Mayormente se toma una muestra representativa de todo el canal que reúnan las características de toda la conducción. (Palacios, E. 2004)

$$E_{fc} (\%) = (Q_s / Q_i) * 100 \quad (54)$$

Donde:

- $E_{fc}$ : es la eficiencia de conducción, (%)
- $Q_e$ : es el caudal de salida del canal.
- $Q_i$ : es el caudal de ingreso del canal.

Cuando se tiene nuevos canales de riego, no solo se piensa en tener el agua en la bocatoma, sino que se da mucha importancia al sistema de distribución hasta la parcela, lo que

conlleva a un aumento en la eficiencia de riego. teniendo en cuenta las formas de pérdida de agua en el canal. (Palacios, E. 2004)

- Perdidas por infiltración: estas pérdidas son las más importantes, dependen de muchos factores como perímetro mojado, longitud del canal y carga hidráulica, incluso puede llegar a ser un 15% a 45 % de las pérdidas
- Perdidas por mal manejo en la operación: se producen por el mal manejo de parte del encargado como al cerrar o abrir una compuerta o por falta de mantenimiento.
- Perdidas por fugas: estas pérdidas se producen cuando el canal se encuentra en mal estado, compuertas en mal estado, etc,
- Perdidas por evaporación: este apartado de perdidas es de pequeñas proporciones, por ende, no se toma en cuenta.

Para un buen cálculo de la eficiencia de conducción de un canal de riego se tiene que realizar aforos rutinarios en un punto de entrada y un punto de salida, con los cuales se tendrá una data veraz de la situación del canal. (Palacios, E. 2004)

#### **2.2.10.2.1. Valores y medición de la eficiencia de conducción y distribución**

En un canal de riego se tiene varias perdidas y una de las principales es la infiltración la cual se puede medir directamente o estimarse a base de procedimientos analíticos y empíricos, dichas pérdidas pueden expresarse como. (Chiclote, O. 2017)

- El caudal infiltrado por unidad de longitud, ( $m^3/s/km$ ).
- El volumen por unidad de superficie de área mojada del canal y por unidad de tiempo, ( $m^3/m^2/día$ ).
- El caudal infiltrado con relación al caudal que conduce el canal por unidad de longitud que en este caso será en tanto por ciento por kilómetro.

Un primer concepto que se utilizó para expresar las pérdidas de agua en un sistema de riego es el rendimiento de transporte de suministro, donde la pérdida de agua era considerable, hoy en día en canales revestidos nuevos con mampostería de piedra, concreto, etc. es de esperar eficiencias próximas de 95% hasta en 20 km y de 90 %, hasta 50 km. (Chiclote, O. 2017)

Otros autores dan valores de la eficiencia de conducción establecidos con respecto a la cantidad de terreno a irrigar. (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

En canales principales:

- Suministro continuo sin una modificación importante del canal (0.90).
- Suministro intermitente en proyectos de 3.00 a 7.00 has y zonas de rotación de 30 a 70 has, con buena administración (0.80 – 0.85).
- Grandes sistemas (mayor de 10,000 has) y sistemas pequeños (menor de 1,000 has) con una comunicación deficiente y una administración menos eficaz (0.50 – 0.70).

En acequias o canales de parcelas, considerados como canales de distribución:

- Bloques de 20 o más ha; sin revestir (0.80) y Revestidas o en tuberías (0.90 – 0.95).
- Bloques de 1 a 20 has; Sin revestir (0.60 – 0.75), Revestidas (0.70 – 0.90).

### **2.2.10.3. Eficiencia de distribución en canales de riego (Efd)**

El cálculo de esta eficiencia es parecido a la eficiencia de conducción, se obtiene de los canales de distribución, los cuales son utilizados para llevar el agua hacia las parcelas o chacras de los usuarios del sistema de riego. con esto se mide la pérdida existente entre la toma lateral del canal principal, llegando hasta las parcelas donde se realizará el riego, también se puede tomar muestras representativas dependiendo de la extensión del proyecto de riego. La fórmula para hallar la eficiencia de un canal de distribución. (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

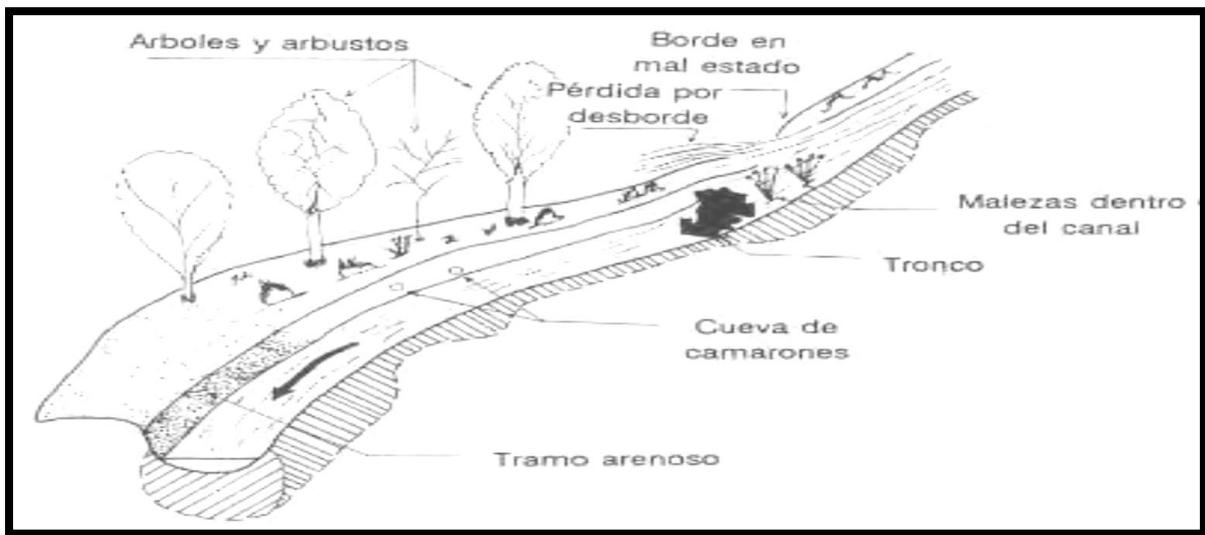
$$Efd = \frac{Q \text{ que llega al final del Canal de Distribución} + \Sigma Q \text{ de los laterales}}{Q \text{ de agua que entra al canal lateral}} \times 100 \quad (55)$$

Cuando se tiene un sistema con varios canales de distribución se sacará la media de las de todos los canales de distribución que se encuentren en funcionamiento.

$$E_{fd} = \frac{\Sigma \text{Sumatoria de eficiencias de Distribución de 1er, 2do, 3er, 4to, ... "n" orden}}{\text{Número total de canales de Distribución}} \quad (56)$$

**Figura 7:**

*Pérdidas en canales de Distribución y Conducción.*



Fuente: (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

#### **2.2.10.4. Eficiencia de aplicación de un sistema de riego (Efa)**

Hace referencia a la proporción de agua que queda en el suelo después del riego relacionándolo con el total de aguas que se aplicó, por lo general se mide de acuerdo al porcentaje o litros de agua útil para el terreno por cada 100 litros dados. (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

Para el valor de la eficiencia de aplicación, se tiene que tener en cuenta que está directamente afectado por el área de la parcela teniendo una relación de proporcionalidad, también se puede tomar muestras representativas dependiendo de la extensión del proyecto de riego. Para caso prácticos se tiene que el riego por gravedad por inundación tiene una eficiencia

que promedio de 30%, riego por aspersión con una eficiencia promedio de 70% y el riego por goteo con una eficiencia promedio de 90%. Teniendo estos valores en cuenta se puede utilizar la siguiente ecuación si es que se tiene varias parcelas. (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

$$Efa = \frac{A1*Er1+A2*Er2+\dots+An*Ern}{A1+A2+\dots+An} \quad (57)$$

Donde:

- An= se refiere al área de parcela
- Ern= Eficiencia de riego en parcela

La eficiencia de aplicación hace referencia a un mejor riego, es por ello que se puede optimizar siguiendo algunas recomendaciones como; tener la zona de las raíces de las plantas con el agua suficiente sin excesos ni déficit del recurso, en el terreno tener en cuenta las áreas bajas ya que puede inundarse ocasionado desperdicio de agua incluso llegando a enfermar los cultivos, es por ello que se prioriza el drenaje de estos, pero algo muy importante es tener mayor área de riego con la misma agua, es decir que se puede aplicar distintos métodos de riego logrando así el objetivo (Nuñez, A. & Hurtado, E. 2015)

Para calcular la eficiencia de aplicación se puede hacer relacionando el volumen de agua requerido y el volumen aplicado para el riego (Domínguez, T. 2019)

$$Efa = (Vr/Va) \times 100 \quad (58)$$

Donde:

- Efa: Eficiencia de aplicación del riego.
- Vr: volumen de agua requerido.
- Va: Volumen aplicado en el riego.

Si es que dividimos los volúmenes entre el área a irrigar, la eficiencia de aplicación se puede calcular en función de la lámina neta y lámina bruta (Lb), como

$$Efa = (Ln/Lb) \times 100 \quad (59)$$

Donde:

- Efa: Eficiencia de aplicación del riego.
- Ln: Lámina neta.
- Lb: lámina bruta.

Los factores que influyen en la eficiencia de aplicación son: Humedad inicial del suelo, tiempo de riego, caudal de agua, dimensiones de la unidad de riego, receptibilidad del suelo, pendiente del terreno y capacidad del regador. (Domínguez, T. 2019)

Según estudios ya realizados en la parte altoandina del Perú se tiene algunos valores de referencia según a la eficiencia de aplicación del riego por gravedad y aspersión.

**Tabla 13:**

Eficiencia en el riego por gravedad (%).

Eficiencia del Sistema de riego (%)			
Textura del suelo y topografía	Melgas	Surco	Melgas en contorno
<b>1. Arenoso</b>			
a) Bien nivelado	40	40 – 50	40
b) Nivelación insuficiente	20 – 30	30	30
c) Quebrado o con pendiente	-	20 – 30	20
<b>2. Franco arenoso</b>			
a) Bien nivelado	45 – 55	50 – 60	50 – 55
b) Nivelación insuficiente	35 – 45	30 – 50	30 – 40
c) Quebrado o con pendiente	-	20 – 30	20 – 30
<b>3. Franco Arcilloso</b>			
a) Bien nivelado	60	50	45
b) Nivelación insuficiente	40 – 50	35	35
c) Quebrado o con pendiente	30	30	30
<b>4. Limo Arcilloso</b>			
a) Bien nivelado	50 – 60	50 – 65	40 – 60
b) Nivelado insuficiente	40 – 50	45 – 55	30 – 45
c) Quebrado o con pendiente	20 – 40	25 – 45	20 – 30

Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. & Cañamero, M. 2017)

**Tabla 14:**

Eficiencias de riego en un sistema de aspersión (%).

Lámina de agua aplicada (mm)	Evapotranspiración máxima (mm/día)		
	< 5 mm	5 – 7.5 mm	>7.5 mm
Velocidad del viento promedio: 0 -6.4 km/h			
25	68	65	62
50	70	68	65
100	75	70	68
125	80	75	70
Velocidad del viento promedio: 6.4 – 16 km/h			
25	65	62	60
50	68	65	62
100	70	68	65
125	75	70	68
Velocidad del viento promedio: 16 – 24 km/h			
25	62	60	58
50	65	62	60
100	68	65	62
125	70	68	65

Fuente: (Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. &amp; Cañamero, M. 2017)

**2.2.11. Captación para un sistema de riego**

También conocida como bocatoma, es una estructura hidráulica construida con el único fin de derivar parte de agua disponible desde un curso mayormente natural o artificial como un arroyo, río, lago, canal o desde el mar, y dicha agua es utilizada para muchos fines, como riego, abastecimiento de agua potable, generación de energía eléctrica, industria, acuicultura, etc.

Cuando se caracteriza una bocatoma, es en esencia por el caudal de captación, del cual podemos hablar como el caudal máximo que una bocatoma puede admitir. Cuando se construye una bocatoma es con el único fin de juntar el agua desde uno o varios puntos y constituirlo en un solo caudal en un solo punto que es la ventana de captación que da a la entrada del canal.

En el diseño y construcción de una bocatoma, lo más importante es tener en cuenta los problemas que nos puede dar los meses lluviosos, es por ello que las estructuras de la bocatoma se deben construir en lugares donde la crecida de agua de los cauces no afecte directamente a

estas especialmente por la erosión, hay estudios que nos ayudan a dar una concepción previa de la construcción como los estudios hidrológicos, ecológicos, geológicos, sedimentológico, topográficos y económicos. (Ponce, R. 2015)

### **2.2.11.1. Clasificación de captación de montaña**

#### **2.2.11.1.1. Captación sin barrage**

Este tipo de estructuras se diseña en ríos donde el curso de agua tiene fuerte pendiente y se tiene en cuenta ya que el costo es menor, pero hay puntos negativos como la variación del caudal del río y puede dejar a la toma sin agua sobre todo en época de estiaje donde el caudal es mínimo. (Ponce, R. 2015)

#### **2.2.11.1.2. Captación con barrage**

Este tipo de bocatoma son mucho más empleadas, por lo que aseguran un nivel constante del agua y un caudal óptimo a la toma, de esta manera se tiene una mejor área de riego; las bocatoma con barrage tienen tres variantes que son con barrage fijo, barrage móvil y con barrage mixto. (Ponce, R. 2015)

- a. Bocatoma con Barraje Fijo: conformado por un barrage generalmente construido de concreto simple el cual eleva el tirante del agua y garantiza el caudal óptimo en la toma.
- b. Bocatoma con Barraje Móvil: está conformado por un sistema de compuertas los cuales se utilizan en ríos donde se tiene regímenes de caudal variables.
- c. Bocatoma con Barraje Mixto: es la combinación de estos dos sistemas aprovechando los beneficios de cada uno de ellos, una parte por una estructura fija y la otra por compuertas que garantizan un cuan caudal de derivación y una limpieza óptima.

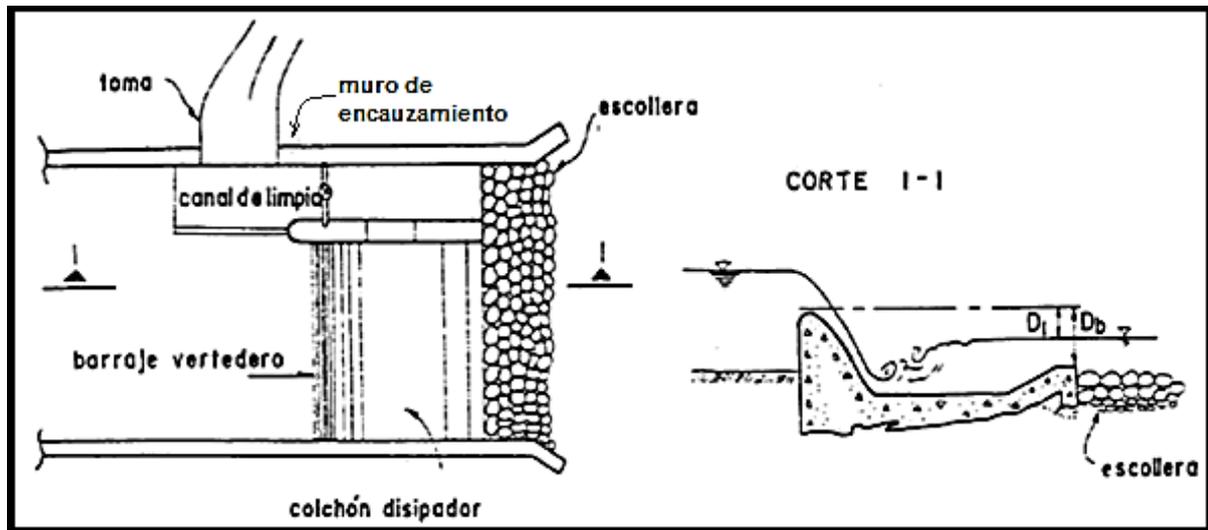
### **2.2.11.2. Elementos de una bocatoma**

Generalmente las bocatoma están ubicadas en los ríos de montaña o valles, donde se tiene un caudal alto en épocas lluviosas con una gran presencia de solidos ya que hay gran

pendiente y esto aumenta la velocidad, las bocatoma están constituidas por varias partes que contrarrestan los diferentes cambios de caudal a lo largo de sus estaciones. (Ponce, R. 2015)

**Figura 8:**

*Esquema de Bocatoma convencional.*



Fuente: (Ponce, R. 2015)

#### **2.2.11.2.1. Barraje de una captación**

El barraje es una estructura que se construye en una sección transversal del río, cuya finalidad es de elevar el nivel del agua y así captar el caudal que se necesita para que la bocatoma trabaje correctamente. (Ponce, R. 2015)

#### **2.2.11.2.2. Muros de encauzamiento en una captación**

Encauzan el flujo del río teniendo en cuenta algunos parámetros con el objetivo de condicionar un diseño preestablecido donde se cumpla con un ancho, remanso, tirante, etc. Esta estructura se puede construir mayormente de concreto simple o armado, el diseño del dimensionamiento se fundamenta en el manejo del posible desbordamiento del nivel máximo del agua por lo que se recomienda que su cota superior este por lo menos 0.5 m por encima de este nivel, es decir su borde libre, evitando así la socavación en las estructuras de la bocatoma. Con la altura del muro de encauzamiento se puede

diseñar el espesor de estos, teniendo en cuenta factores de seguridad como el volteo, deslizamiento y asentamiento. (Ponce, R. 2015)

#### **2.2.11.2.3. Ventana de captación**

La ventana de captación es una estructura por donde ingresa el caudal captado, recibe ese nombre ya que está a una altura de 60 cm como mínimo del piso del canal de limpia, el dimensionamiento de la ventana de captación se realiza de acuerdo al caudal a captar. Funciona como un orificio, esta ventana a su vez también está constituida por un enrejado de forma vertical o en algunos casos puede ser con una cierta inclinación que impide la entrada de material de tamaño considerable que sea sólido o flotante incluso piedras. (Ponce, R. 2015)

#### **2.2.11.2.4. Colchón disipador**

En consecuencia, de construir un barrage vertedero en el cauce del río, esto hace que se incremente la energía potencial que al instante de vaciar el agua por encima del barrage se convierte en energía cinética que causa erosión y por tal motivo se construye estructuras de disipación de energía llamadas colchón disipador, produciendo un salto hidráulico que busca disipar la energía cinética lograda por el barrage; logrando que el agua se devuelva al cauce natural con velocidades bajas sin producir algún tipo de erosión en el río. (Mansen, A. 2010)

#### **2.2.11.2.5. Canal de limpia**

Mitiga en gran medida los sedimentos que quieran entrar al canal de derivación, ayuda a limpiar el material de fondo que se almacenan al frente de la ventana de captación, recomendablemente se ubica perpendicular al eje del barrage vertedero y su flujo paralelo al del río y formando un Angulo entre  $60^\circ$  y  $90^\circ$  con el eje de la captación, a excepciones que se analice otras condiciones como por ejemplo con un modelo hidráulico. (Mansen, A. 2010)

#### **2.2.11.2.6. Transición de entrada al canal o antecanal**

Cuando el agua pasa por la ventana de captación, a la salida de esta estructura se tiene una sección más ancha, para ello se utiliza la transición de entrada al canal la cual ayuda a que no haya grandes pérdidas de energía entre la ventana de captación y el canal. (Ponce, R. 2015)

#### **2.2.11.2.7. Aliviadero de demasías**

Esta estructura es construida con el fin de brindar protección, está ubicada en uno de los lados del canal, eliminando cualquier exceso de agua que haya dentro de la estructura de conducción, ya sea por avenidas o de mala operación de alguna compuerta. (Ponce, R. 2015)

#### **2.2.11.2.8. Desarenador**

Cuando se llega la época de precipitaciones los ríos acarrearán gran cantidad de material sólidos y en suspensión, es por eso que los desarenadores son de gran importancia en el manejo de estos sedimentos, ya que puede causar daños diversos como disminución de la sección transversal por la colmatación, incluso interrupción del servicio de agua; (Ponce, R. 2015)

### **2.2.12. Canales de un sistema de riego**

Estas estructuras llamadas canales son conductos que pueden ser cerrados o abiertos, es por ellos por donde circula el agua solo por la acción de la gravedad sin necesidad de utilizar la presión puesto que la superficie libre del agua está todo el tiempo en contacto con la atmósfera, por lo tanto, se define que el agua solo fluye por su propio peso y el impulso de la presión de la gravedad. (Villón, M. 2008)

#### **2.2.12.1. Tipos de revestimiento en canales**

Hoy en día el revestimiento de canales de riego es muy común, ya que es de suma necesidad por muchos motivos como por ejemplo evitar pérdidas por filtraciones, evitar erosiones por altas velocidades o sedimentaciones por bajas velocidades, etc. (Rosell, C. 1998)

**Tabla 15:**

Valores de rugosidad "n" de Manning más usados.

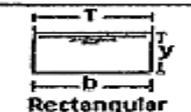
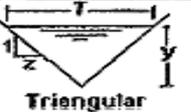
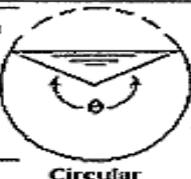
Tipo de material del canal	Rugosidad (n)
Tierra: alineada y uniforme	0.025
Roca: liso y uniforme	0.033
Roca: con salientes	0.040
Dragados de tierra	0.0275
Tierra con taludes ásperos	0.030
Mampostería con piedra de labrada	0.016
Mampostería con piedra de cantera	0.017
Hormigón y concreto	0.014

Fuente: (Rosell, C. 1998)

Hay para utilizar diversos materiales como concreto o mampostería de piedra, los cuales son de manera relativa óptimos a cumplir los requerimientos mencionados; pero también se puede hacer uso de madera, geosintéticos, láminas de acero que tienen forma cilíndrica los cuales se utiliza mayormente en tramos del canal tapados o entubados. (García, E. 2008)

**Figura 9:**

*Secciones típicas de canales.*

Sección	Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$\frac{(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$

Fuente: (García, E. 1997)

Los revestimientos de canales que son usados con más frecuencia son los siguientes:

#### **2.2.12.1.1. Revestimiento de canales con concreto simple**

Este revestimiento consiste en colocar una capa de concreto simple de  $f'c:175 \text{ kg/cm}^2$  al piso y a los taludes del canal antes perfilados con espesores desde 7 a 12 cm y acorde con la geometría de estos, la construcción de estos canales se realiza utilizando encofrado ya sea tradicionales que son de madera o un poco más sofisticados que son metálicos y materiales como cemento, agregado, asfalto, entre otros; es necesario también colocar juntas de dilatación de cada 3 a 6 m y que sean llenos con asfalto, con lo que se garantiza un canal estable y con pérdidas insignificantes de agua en su operación. Por lo general es más costoso ya que se necesita de mano de obra calificada. (Goicochea, R. 2013)

#### **2.2.12.1.2. Revestimiento de canales con concreto ciclópeo con 30 a 60 % de piedra**

En este tipo de revestimiento también es indispensable el uso de encofrado sobre todo en secciones rectangulares primero se vacía el piso y se encofra ambas caras, en secciones trapezoidales en algunos casos se puede vaciar directamente sobre la caja del canal; pero en ambos casos el concreto a utilizar es 1:2:4, dando un rendimiento de 3 a 5 bolsas  $\text{m}^3$  dependiendo de la cantidad de piedra que se pueda colocar, según recomendaciones se tiene que lograr un espesor mínimo de 15 cm en canales trapezoidales y en sección rectangular será de acuerdo al empuje lateral que se pueda presentar. (García, E. 2008)

#### **2.2.12.1.3. Revestimiento del canal con mampostería de piedra**

Se utiliza mayormente cuando se tiene fácil acceso a la materia prima y no se tiene un buen perfilado de la caja del canal; para su construcción se utiliza piedras limpias sin materia orgánica y la unión se realiza con motero de cemento con dosificación de 1:4, según recomendaciones el espesor mínimo es de 20 cm y el talud 1:1; cuando se hace un buen emboquillado el uso de piedra es de un 70 % lo resto es motero de cemento. (García, E. 2008)

## **2.2.12.2. Daños comunes en canales con revestimiento de concreto**

### **2.2.12.2.1. Obstrucción en canales de concreto**

Este tipo de daños se da por la presencia de algún material que imposibilita el paso correcto del agua por la sección del canal. Las causas que lo puedan ocasionar son el transporte de sedimentos presentes en el agua haciendo depósitos de estos, mala pendiente en el canal que imposibilita el arrastre del material y un mal mantenimiento del canal; Se puede clasificar estas obstrucciones como nivel bajo (10% de la longitud del canal), medio (30 % de la longitud del canal) y alto 30% de la longitud del canal) y se puede medir en metros lineales de canal obstruido o en m<sup>3</sup> de material acumulado. (Chiclote, O. 2017)

### **2.2.12.2.2. Deformaciones en canales (grietas, roturas y fisuras)**

Antes de revisar grietas, roturas y deformaciones, se realiza una evaluación del estado del concreto, como es que se encuentra el estado del recubrimiento del canal, se trata de recorrer el canal y hacer una fundamentada observación teniendo una idea clara y concisa del estado general del canal, para ello es necesario tener noción de los temas de patología de las estructuras de concreto. (Goicochea, R. 2013)

- Grietas: es aquella abertura de un cuerpo que no se puede controlar y que perturba a todo su espesor, su medición de daños es por metro lineal.
- Fisura: es aquella abertura de un cuerpo que solo perturba a la superficie del del elemento o su terminado superficial, su medición de daño es por metro lineal
- Rotura: es cuando el cuerpo esta despedazado por completo, es decir que al elemento no se le puede mejorar con un simple tratamiento, en caso es necesario cambiar la gran parte del cuerpo, su medición de daño ´puede ser por metro lineal o por metro cuadrado.

Todas estas anomalías pueden ser causadas por efectos naturales como contracción y expansión por los cambios de humedad y temperatura, las cuales se deforman por las cargas y de las condiciones de apoyo, por ende, falla el concreto. (Chiclote, O. 2017)

#### **2.2.12.2.3. Erosión de la superficie en canales de concreto**

Hay pérdida del concreto que conforma la superficie del canal; las causas pueden ser la baja calidad del concreto, presencia de sustancias corrosivas para el concreto o flujo de agua que generan la erosión. Se puede clasificar como erosión baja (apenas apreciable menor a 2cm), erosión media (notorio, más de 2cm), erosión alta (la pérdida del material del canal es más del 10% de la sección. Se puede medir en m<sup>2</sup> afectados de la estructura. (Chiclote, O. 2017)

#### **2.2.12.2.4. Erosión de las juntas en canales de concreto**

La erosión de juntas es la pérdida total o parcial del material de relleno de la junta entre las secciones del canal. Las causas pueden ser la baja calidad del material o la fuerza erosiva del flujo del agua, se puede clasificar en erosión baja (cuando el sello perdido es menor al 20% y no permite la pérdida de agua), erosión media (cuando el sello perdido esta entre 20 % a 40% y puede existir pequeñas filtraciones), erosión alta (el sello perdido a superado el 40% y hay pérdidas de agua). La medición se puede realizar por metros lineales de juntas a reparas y su reparación son el relleno con silicona o asfalto. (Chiclote, O. 2017)

#### **2.2.12.2.5. Desplazamiento de las juntas en canales de concreto**

Este desplazamiento se refiere al movimiento de su posición original en un canal. Que pueden ser causados mayormente por deformaciones en el terreno de fundación del canal; se pueden clasificar en desplazamiento bajo (desplazamiento, pero aún hay continuidad en la junta), desplazamiento medio (causan agrietamiento en la estructura y daños de sellado), desplazamiento alto (se pierde la continuidad en la estructura y por lo tanto hay fugas de agua). Su medición puede ser en la longitud de metros por reparación de juntas y el desplazamiento

que puede medirse en centímetros, para su arreglo puede ser reposición de juntas o en casos extremos se tiene que remover todo el paño del canal. (Chiclote, O. 2017)

#### **2.2.12.2.6. Daños por la vegetación en canales de concreto**

Este daño está dado por el crecimiento de plantas en el canal donde mayormente las raíces causan daños en juntas y en la misma estructura del canal. Los daños se pueden clasificar como bajo (son daños menores mayormente solo estéticos), medio (puede existir fisuras causadas por las raíces), alto (raíces árboles que causan el rompimiento o agrietamiento del canal). Se puede arreglar con el retiro de la vegetación y reparaciones del canal. (Chiclote, O. 2017)

#### **2.2.12.3. Orden de un canal según su función**

##### **2.2.12.3.1. Canal de primer orden**

Es conocido como canal de derivación o madre, sus pendientes mayormente son mínimas y normalmente están ubicados por terrenos altos es por ello que solo se usan por un solo lado. (Goicochea, R. 2013)

##### **2.2.12.3.2. Canal de segundo orden**

Es conocido como canal lateral, estos canales salen de un canal de primer orden y el caudal que sale de estos es repartido a un sub – lateral, todo el lugar de irrigación de un lateral se conoce como unidad de riego. (Goicochea, R. 2013)

##### **2.2.12.3.3. Canal de tercer orden**

Es conocido también como sub – lateral y se reparte de los canales de segundo orden, el agua que sale de estos canales se va repartiendo en los terrenos de cultivo, esta área de irrigación de un canal sub – lateral se conoce como unidad de rotación. Por lo tanto, se puede decir que varias unidades de rotación conforman una unidad de riego, y varias unidades de

riego conforman un sistema de riego, este sistema toma el nombre de canal madre, de derivación o de primer orden. (Goicochea, R. 2013)

#### **2.2.12.4. Velocidad mínima en un canal revestido**

En un canal revestido hay condiciones mínimas de velocidad que se recomienda para evitar sedimentación, cuyas velocidades están entre 0.4 m/s a 1.0m/s dependiendo las condiciones del canal. (Valverde, J. 2007)

#### **2.2.12.5. Velocidad máxima en un canal revestido**

Esta velocidad se obtiene en un canal cuando se diseña con área mínimas o más conocida como una sección óptima ya que cuando se tiene un área mínima con un caudal que es constante esta velocidad será máxima ( $V_{m\acute{a}x}$ ), la velocidad recomendada para estos canales revestidos en tramos rectos esta entre 1.5 a 3 m/s, pero en donde se pueden ubicar partidores, compuertas o tramos curvos la velocidad recomendada es de 1 m/s. (Valverde, J. 2007)

#### **2.2.12.6. Velocidad superficial de un canal ( $V_s$ )**

Esta velocidad superficial es igual a la velocidad de flotación de un cuerpo y es calculado entre la reacción de espacio recorrido (L) y el tiempo (T) que demora en hacerlo. (Valverde, J. 2007)

$$V_s=L/T \tag{60}$$

#### **2.2.12.7. Velocidad media de un canal ( $V_m$ )**

También se la conoce como velocidad media de corriente ( $V_m$ ), es recomendable que este entre los valores de 0.75  $V_s$  a 0.90  $V_s$ , de acuerdo a las condiciones de flujo como la de mayor valor se utiliza para aguas más profundas y con mayor rapidez, si se divide el área de la sección del flujo en diversas secciones de área A, donde solo se medirán velocidades superficiales del canal, luego se calcula las velocidades medias, y el caudal total será la suma

de la sumatoria de los caudales parciales Q obteniendo así el caudal total (Valverde, J. 2007)

$$Q=V_{m1} \cdot A_1 + V_{m2} \cdot A_2 + \dots + V_{mn} \cdot A_n \quad (61)$$

#### **2.2.12.8. Tirante (y)**

Es la medida desde la base del canal hasta el inicio del borde libre, este tirante es utilizado en el cálculo del área hidráulica, sección de máxima eficiencia hidráulica y sección de mínima infiltración. (Villón, M. 2008)

#### **2.2.12.9. Área hidráulica de un canal**

Se puede calcular teniendo el ancho de solera o la base, el tirante y talud del canal, pero también se puede obtener utilizando la ecuación de continuidad, conociendo ya la velocidad (V) y el caudal (Q). (Villón, M. 2008)

$$A = \frac{Q}{V} \quad (62)$$

#### **2.2.12.10. Taludes de un canal**

Esta parte del canal hace referencia a la inclinación que se le pueda otorgar a las paredes laterales del canal y las cuales se expresan en forma de proposición (H: V). (Villón, M. 2008)

#### **2.2.12.11. Borde libre de un canal**

El borde libre (e) es el espacio existente entre la cota de la corona del canal y la superficie del agua, no hay alguna especificación técnica fija que se acepte para el diseño del borde libre, ya que hay cambios en la superficie del agua del canal por muchos motivos. Es por ello que empíricamente, se utilizan las siguientes expresiones, en canales no revestidos  $e=1/3Y$  y en canales con revestimiento  $e=1/6Y$ ; donde Y es el tirante del canal en metros, pero siempre teniendo en cuenta el borde libre mínimo es de 0.1 m. (Villón, M. 2008)

### 2.2.12.12. Ancho de solera (b)

También conocido como plantilla o base, en canales pequeños el ancho de solera está básicamente dado por el tamaño de la maquinaria o herramientas a usar para su construcción, pero también se puede construir en función del caudal. (Villón, M. 2008)

**Tabla 16:**

Ancho de la base de un canal en función del caudal.

Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de solera b (m)
Menor de 0.100	0.30
entre 0.100 y 0.200	0.50
entre 0.200 y 0.400	0.75
Mayor de 0.400	1.00

Fuente: (Villón, M. 2008)

### 2.2.12.13. Obras de arte en canales

Las principales obras de arte en canales son:

#### 2.2.12.13.1. Saltos hidráulicos

Este tipo de estructuras se utilizan para salvar desniveles a lo largo del canal. Su uso se realiza cuando se presenta un barranco, es decir las pendientes no son homogéneas, también cuando se necesita separar los regímenes de agua arriba y aguas abajo es decir cuando se quiere llevar alguna sección de aforo o partidior, cuando hay que disminuir la velocidad estando en un entorno del régimen crítico  $Fr=1$ , bajando la pendiente del canal. (Chow, D. 2004 )

#### 2.2.12.13.2. Obras de cruce (puente canal y sifones)

Existen dos principales estructuras que es el puente canal y el sifón.

Un puente canal cruza un obstáculo por encima de este, para que sea económico se tendrá que diseñar con la mayor pendiente posible ya que a mayor velocidad menos sección transversal, desde ese punto el problema es más estructural que hidráulico.

Con el sifón el obstáculo es cruzado por debajo, la cota de entrada es superior a la cota de salida, es decir el escurrimiento en la estructura deberá producir presión, es decir, es una conducción a presión, en el dimensionamiento transversal hay muchos aspectos como caudales pequeños o grandes, para tramos cortos o incluso el uso de turbinas. (Chow, D. 2004 )

#### **2.2.12.13.3. Obras de derivación**

Se utiliza especialmente en obras destinadas a riego, la derivación realizada puede ser parcial cuando el caudal derivado es menor al caudal que pasa, para ello se utiliza compuerta en el canal de derivación, para saber el caudal específico pasante y derivado se recurre al limnómetro que están ubicados estratégicamente. (Chow, D. 2004 )

#### **2.2.12.13.4. Obras de transiciones**

Este tipo de estructuras están ubicados al cambio de una estructura con otra, como el cambio del antecanal al canal en sí después de una toma de agua o desarenadores. (Chow, D. 2004 )

#### **2.2.12.13.5. Obras de aforo**

En un canal las obras de aforo son similares, en principio a los aforos que se realizan en ríos como el limnómetro que es básicamente una regla ubicada dentro del canal que gracias a un escalón de fondo o estrechamiento genera un tirante crítico y de allí la relación entre la profundidad y el caudal en el canal, otra estructura muy utilizada es la canaleta Parshall la cual aparte de la medición de caudales en los canales abiertos, se usa incluso para realizar mezcla rápida de algunas sustancias, su principio es utilizar contracciones donde se por un vertedero se mide el caudal pasante. (Chow, D. 2004 )

### **2.2.13. Operación de la infraestructura del sistema de riego**

#### **2.2.13.1. El operador del sistema de riego**

También conocido como sectorista, es el encargado capacitado para operar todo el sistema de riego. Su función se basa en realizar la repartición de determinada cantidad de las aguas de riego según el requerimiento de los usuarios, en muchos casos es el encargado de todo el sistema desde la bocatoma hasta que llega a las parcelas, pero dependiendo de la magnitud del proyecto puede haber más de un operador. (Nuñez, A., Rosales, A., Caro, R., Gamarra, L. & Hurtado E. 2014)

#### **2.2.13.2. Repartición de agua para los sectores de riego.**

Los que representan a los sectores de riego son electos por los usuarios de agua y los sectores de riego se concretan en una asamblea general de usuarios de agua de riego. Un representante del sector de riego tiene la función de presentar la lista de usuarios, superficies de los terrenos y volumen de agua, con el tiempo de riego para cada sector estableciendo un rol de turnos del uso del agua, lo que ayuda al operario o al sectorista de riego hacer su labor. (Nuñez, A., Rosales, A., Caro, R., Gamarra, L. & Hurtado E. 2014)

### **2.2.14. Mantenimiento de la infraestructura del sistema de riego**

Para el mantenimiento en general se tiene partes de estos sistemas como la bocatoma, desripador, desarenador, canal de conducción y distribución; pero también existen obras de arte como medidores de caudal, tomas laterales, acueductos, rápidas, sifones, alcantarillas. Las cuales necesitan mantenimiento periódico. (Nuñez, A., Rosales, A., Caro, R., Gamarra, L. & Hurtado E. 2014)

#### **2.2.14.1. Mantenimiento a la bocatoma**

El mantenimiento para una bocatoma mayormente se realiza en época de estiaje, donde el caudal de los ríos sean los mínimos y se puede hacer trabajos como la protección de los

muros con piedra o material propio de la zona sin necesidad de esperar daños que agraven la situación, para compuertas de toma y de limpia se pinta mayormente con pintura anticorrosiva para impedir que se oxiden, en caso de la rejilla se debe revisar y limpiar permanentemente ya que puede haber obstrucciones. (Nuñez, A., Rosales, A., Caro, R., Gamarra, L. & Hurtado E. 2014)

#### **2.2.14.2. Mantenimiento a la desarenador**

Cuando no hay un mantenimiento permanente a un desarenador, los depósitos de material en estas estructuras provocan que exista reboses que erosionan, debilitan y al mismo tiempo que malogran compuertas y otros componentes de estos.

Para su mantenimiento es necesario la limpieza que se hace mayormente en época de estiaje o cuando se verifica su colmatación de material de arrastre. Para las compuertas se utiliza grasa y pintura anticorrosiva para evitar oxido, también se hace la limpieza de plantas o yerbas que puedan crecer a los alrededores. (Nuñez, A., Rosales, A., Caro, R., Gamarra, L. & Hurtado E. 2014)

#### **2.2.14.3. Mantenimiento del canal de conducción y distribución**

Para que se pueda decir que el mantenimiento del canal es correcto se debe realizar por lo menos cuatro veces por año, se recomienda dividirlo en trimestres. Estas limpiezas son conocidas como faenas dirigidas por dirigentes de la organización de usuarios y son realizadas por los propios usuarios del canal, para las reparaciones se necesita materiales como arena, cemento, etc. los cuales pueden ser financiados con dinero recaudado de las tarifas y cuotas de riego, también para evitar derrumbes o deslizamientos se puede realizar pequeñas reforestaciones en zonas críticas o mampostería que ayude al sostén del suelo. (Nuñez, A., Rosales, A., Caro, R., Gamarra, L. & Hurtado E. 2014)

#### **2.2.14.4. Mantenimiento del sistema de riego por parte de las organizaciones de usuarios.**

Para que se pueda hablar de un buen mantenimiento de un sistema por parte de los usuarios estos deben estar primero bien organizados sobre todo por los fines agrarios, ya organizados se puede repartir las labores entre beneficiarios del riego, es decir quien o quienes se encargan de ciertos tramos del sistema, en qué momentos y cómo actuar ante daños en la infraestructura causado por el mal uso o elementos externos como animales. (Nuñez, A., Rosales, A., Caro, R., Gamarra, L. & Hurtado E. 2014)

Para una buena organización para el mantenimiento se puede seguir una serie de pasos los cuales nos pueda ayudar a la organización.

- Realizar reuniones donde se acuerde el día y la fecha para el mantenimiento.
- Verificar los fondos que se necesite, si es necesario realizar alguna cuota adicional.
- Se tendrá que tener un correcto control de tareas de cada usuario y cuánto va hacer su labor de acuerdo a la cantidad de uso del agua y evitar discusiones futuras.
- Las cuotas y tarifas acordadas por las organizaciones de usuarios se deben respetar incluso existe penalidades, sirven para diversas cosas como la compra de materiales como cemento y agregados y también para herramientas como llaves o válvulas, pero hay ocasiones donde las situaciones extraordinarias como caudales de máximas avenidas que afecten la captación o el mismo canal. (Nuñez, A., Rosales, A., Caro, R., Gamarra, L. & Hurtado E. 2014)

#### **2.2.15. Organizaciones de usuarios de agua**

##### **2.2.15.1. Ley de recursos hídricos**

Según el capítulo V de la ley de recursos hídricos N° 29338, tiene los siguientes artículos empezando desde el artículo 26 hasta el artículo 32 que nos habla de las

organizaciones de usuarios de agua, y a continuación mencionare un resumen de los más importantes para esta investigación (Autoridad Nacional del Agua, Ley N° 29338. 2019)

Estas organizaciones que comparten una fuente de agua de un sistema hidráulico se pueden dividir en comités, comisiones y junta de usuarios. Los comités de usuarios de agua son la organización más pequeña, luego se integran a una comisión y esta se integra a una junta de usuarios. (Autoridad Nacional del Agua, Ley N° 29338. 2019)

Hay usuarios que tienen su propio sistema de abastecimiento de agua, que se pueden organizar según el código civil en asociaciones de nivel regional o nacional.

Si una institución presta servicios de saneamiento a una cuenca hidráulica este se integra al sector hidráulico (Autoridad Nacional del Agua, Ley N° 29338. 2019)

Este tipo de organizaciones de usuarios tienen como propósito el uso sostenible los recursos hídricos y la gestión multisectorial de estos, y se consideran como asociaciones civiles. Según los reglamentos, el estado garantiza la autonomía y la elección democrática de sus directivos de estas organizaciones de usuarios de agua. La entidad encargada del registro conforme a ley de estas organizaciones es La Autoridad Nacional del agua. (Autoridad Nacional del Agua, Ley N° 29338. 2019)

Las organizaciones de usuarios son reconocidas mediante una resolución administrativa dada por la autoridad nacional del agua. (Autoridad Nacional del Agua, Ley N° 29338. 2019)

#### **2.2.15.2. Ley de las Organizaciones de Usuarios de Agua**

Según la ley N° 30157, Ley de las Organizaciones de Usuarios de Agua nos proporciona los siguientes artículos para su mejor comprensión y a continuación mencionare un resumen de los más importantes para esta investigación: (Congreso de la República del Perú, Ley N° 30157. 2014)

Esta ley tiene como objetivo regular la constitución y el funcionamiento de estas organizaciones previas a la ley de recursos hídricos. El agua según la constitución política es patrimonio de la nación. (Congreso de la República del Perú, Ley N° 30157. 2014)

Estas organizaciones lo constituyen personas naturales y jurídicas, su objetivo es motivar la participación de la gestión multisectorial y hacer uso sostenible del agua en el contexto de la ley de recursos hídricos. estas organizaciones no tienen intereses monetarios o de lucro más bien es velar por la infraestructura hidráulica y de los recursos, que es de interés común. (Congreso de la República del Perú, Ley N° 30157. 2014)

Estas personas para que puedan ejercer sus funciones dentro de una junta de usuarios tendrán una inscripción en registros públicos con el reconocimiento del A.N.A. según la ley de recursos hídricos, artículo 28. (Congreso de la República del Perú, Ley N° 30157.2014)

Para que se pueda realizar el reconocimiento de comisiones y comités de usuarios la junta de usuarios tiene que estar de acuerdo, entonces autoridad nacional del agua realiza un acto administrativo. (Congreso de la República del Perú, Ley N° 30157. 2014)

### **2.3. Definición de términos básicos**

- **Área:** es una zona acotada que se diferencia de lo que la encierra.
- **Captación:** estructura hidráulica construida con el único fin de derivar parte de agua disponible desde un curso natural o artificial como un arroyo, río, lago, etc.
- **Canales:** son conductos que pueden ser cerrados o abiertos, es por ellos por donde circula el agua solo por la acción de la gravedad.
- **Caudal:** volumen de agua que pasa por unidad de tiempo por una sección normal determinada de una corriente líquida en este caso un canal de riego.
- **Caracterización:** Se trata de establecer los caracteres o distintivos de algo o alguien e, en este caso será de la infraestructura hidráulica del sistema de riego.

- **Cédula de cultivo:** la relación entre cultivos que pueden crecer en una región de acuerdo al suelo, clima, recurso hídrico disponible, así como los conocimientos previos de siembra de los agricultores.
- **Clima:** se trata de las condiciones atmosféricas características de un lugar como la precipitación, humedad, temperatura, vientos, etc
- **Conducción:** es el conjunto de medios de transporte de agua desde la captación hasta un punto de distribución.
- **correntómetro:** instrumento que mide la velocidad en un punto dado de la masa de agua que transita por el canal.
- **Demanda del cultivo:** agua neta utilizada por la planta.
- **Demanda del proyecto:** agua utilizada por el sistema de riego hasta la aplicación.
- **Distribución:** es el conjunto de medios utilizados para llevar el agua desde el punto de entrega de la conducción hasta las parcelas de los usuarios.
- **Eficiencia:** es la capacidad para que se cumpla o se realice una determinada función en este caso hablamos del canal de riego.
- **Evaluación:** se trata de realizar una valoración de actitudes y rendimiento de un servicio, algo o alguien.
- **Organizaciones:** que comparten una fuente de agua de un sistema hidráulico se pueden dividir en comités, comisiones y junta de usuarios.
- **Parcela:** parte dividida de un terreno que se utiliza para el cultivo y al cual se aplica un riego periódico.
- **Riego:** es una práctica que radica en aportar agua al suelo para que determinadas plantas o cultivos se puedan desarrollar, con el fin de su aprovechamiento.
- **Sistema:** hace referencia a un conjunto de elementos que se van relacionando entre sí de forma ordenada para cumplir una determinada función.

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Aspectos generales

#### 3.1.1. Ubicación política

La presente investigación se realizó a los alrededores de la ciudad de San Marcos capital del distrito de Pedro Gálvez, provincia de San Marcos, departamento de Cajamarca, dicha zona de estudio políticamente se puede ubicar como:

**Tabla 17:**

Ubicación política de la zona de estudio.

Departamento	Cajamarca
Provincia	San Marcos
Distrito	Pedro Gálvez
Capital de distrito	San Marcos

#### 3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente la ciudad está situada a una distancia de 64 km de la ciudad capital de Cajamarca. La provincia de San Marcos cuenta con altitudes variables desde los 1500 m.s.n.m hasta más de los 4100 m.s.n.m, la capital de la provincia es un valle interandino rodeado por dos ríos, el río Cascasen y el río Huayobamba también llamado río Muyoc pertenecientes a la cuenca del cajamarquino, la ciudad tiene las siguientes características geográficas:

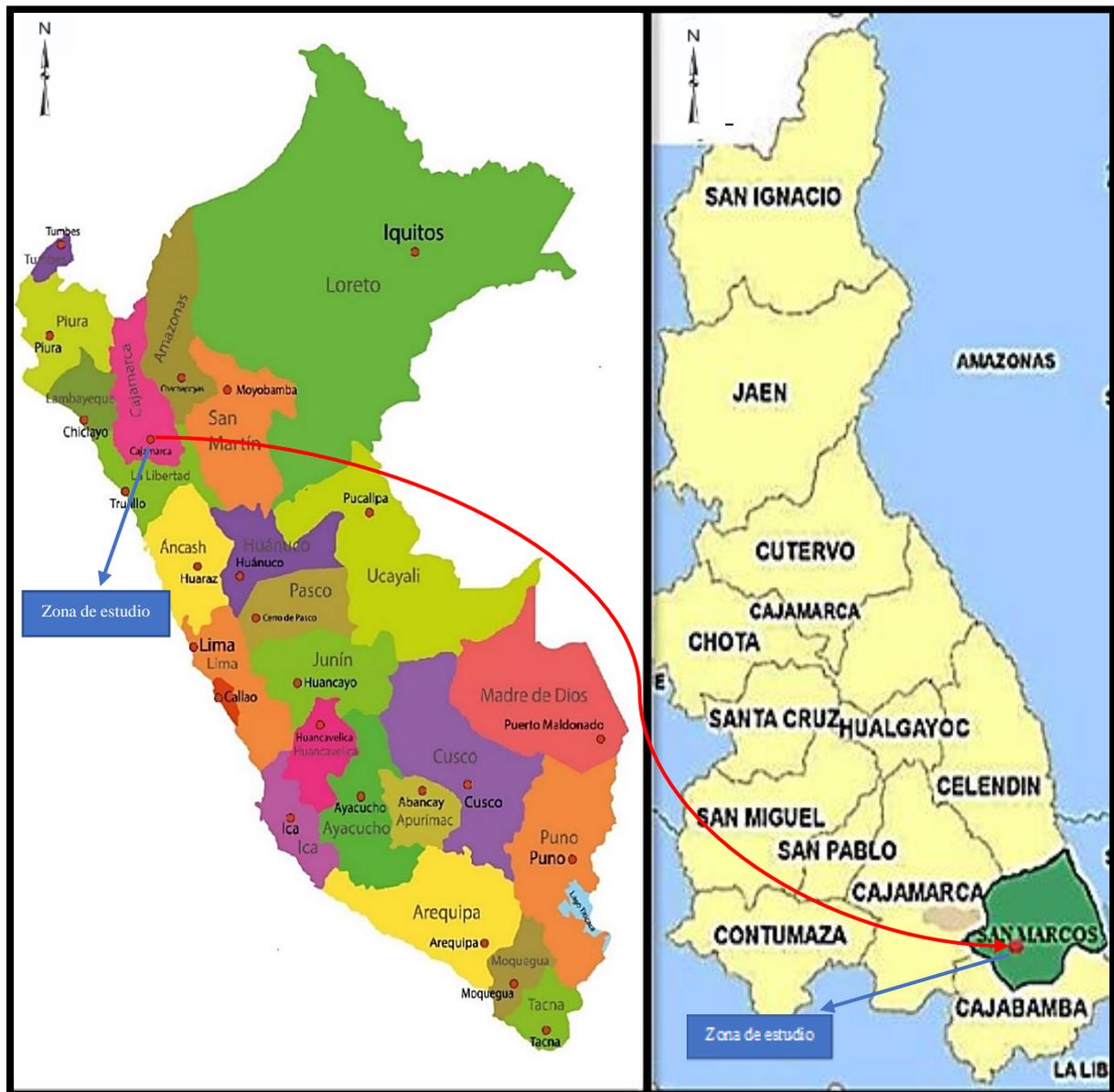
**Tabla 18:**

Ubicación geográfica de la ciudad de San Marcos.

Altitud	2252 m.s.n.m.
Latitud	S 7°20'10"
Longitud	W 78°10'14"
Coordenadas Este	812404.9
Coordenadas Norte	9188109.5

**Figura 10:**

*Ubicación regional y provincial de San Marcos.*



Fuente: (GEO GPS PERÚ, 2023)

**Figura 11:**

*Ubicación del distrito Pedro Gálvez capital de la provincia de San Marcos.*



Fuente: (GEO GPS PERÚ, 2023)

### 3.1.3. Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio abarca cuatro caseríos los cuales son; Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa, captándose el agua del río Muyoc en el caserío de Limapampa teniendo las siguientes características geográficas de la captación:

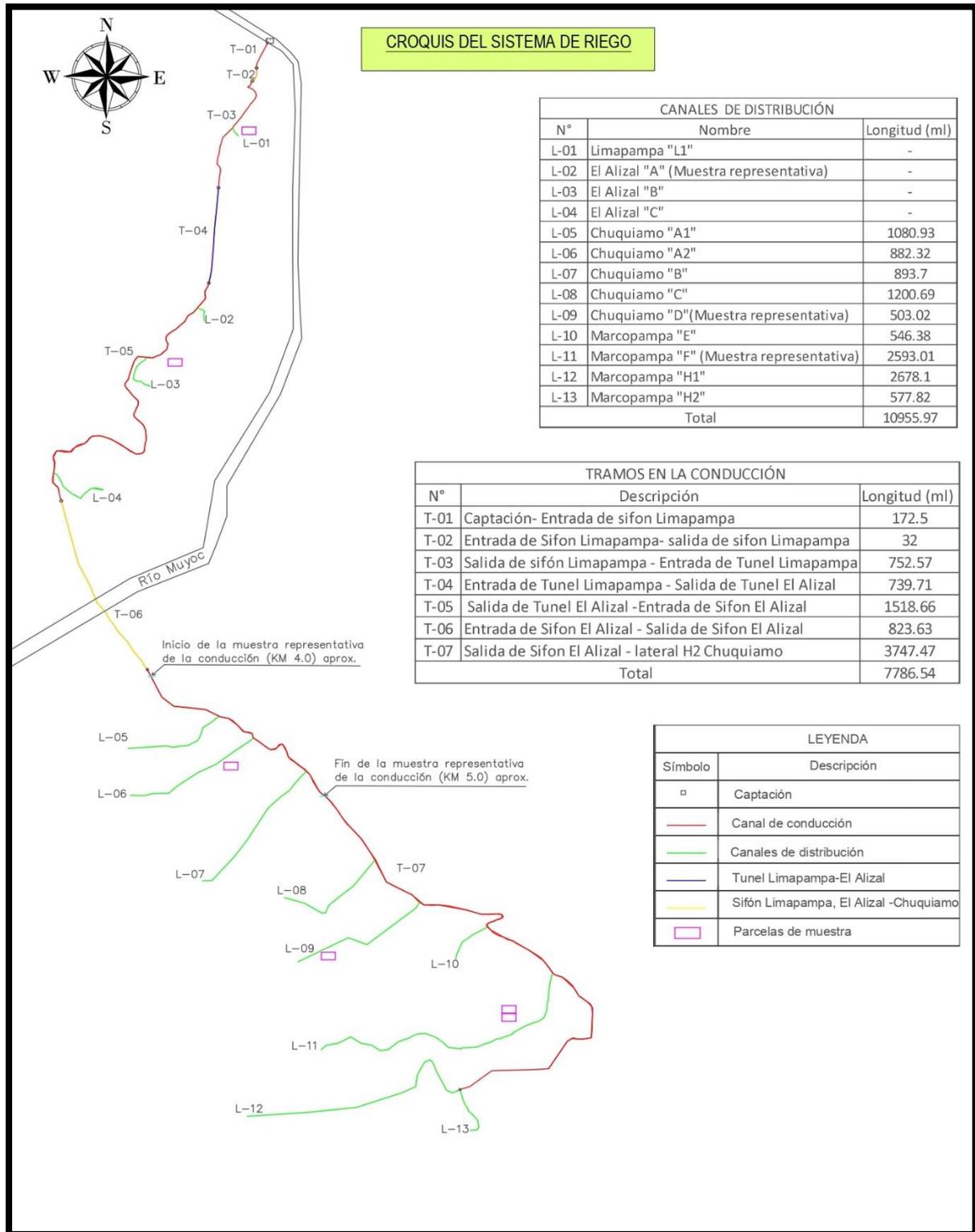
**Tabla 19:**

Ubicación geográfica de la zona de estudio (captación).

Altitud	2448 m.s.n.m.
Latitud	7°17'15.7"
Longitud	78°09'33"
Coordenadas Este	813699
Coordenadas Norte	9193136

**Figura 12:**

*Croquis del sistema de riego.*



### **3.1.4. Ubicación temporal de la investigación**

Esta investigación se efectuó entre los meses de mayo a octubre del año 2023, durante este tiempo se realizó aforros a lo largo de todo el sistema y toma de datos de campo en la zona de estudio la cual fue empleada para el desarrollo de los objetivos específicos trazados.

### **3.2. Materiales y equipamiento para la investigación**

Estos elementos utilizados como los materiales, equipos y uso de sistemas informáticos se darán a conocer a continuación:

#### **3.2.1. Para trabajos en campo**

- Equipos e instrumentos para la medición de los caudales: correntómetro, tubo de Pitot, regla graduada, cordel, cronómetro, estacas, wincha, flotador (tulula), pintura.
- Equipos topográficos como dron y estación total para realizar el levantamiento topográfico de los terrenos de cultivo de muestra y la captación de río.
- GPS: para la toma de coordenadas de los puntos de aforo
- Cámara fotográfica
- Libreta de campo para los apuntes importantes y registro de datos de los caudales.

#### **3.2.2. Para trabajos en gabinete**

- Laptop.
- Impresora.
- Planos, datos del canal y relación de usuarios beneficiarios del riego.
- Útiles de escritorio.
- Softwares para el desarrollo de la investigación: Microsoft Word (usado para la redacción y presentación de tesis), Microsoft Excel (utilizado para la elaboración de tablas de análisis de datos), ArcGis (se usa para el manejo de la información geográfica)

y a la vez producción de planos). AutoCAD (usado para la evaluación topográfica y elaboración de planos).

### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de Investigación**

La presente investigación es de tipo analítica, nivel descriptivo cuantitativo y cualitativo transversal, así como también un diseño de investigación no experimental, método deductivo. Ya que la investigación se basó en realizar una descripción del sistema en funcionamiento en una determinada época del año, es decir que se tomaron datos para su evaluación por única vez.

Se utilizaron datos entregados por la junta de usuarios; datos hidrológicos y climatológicos descargados del SENAMHI y ANA; datos tomados en campo como medición de caudales, características hídricas de los suelos de los terrenos de cultivo, tipo de cultivo sembrado y sistema de riego utilizado por los beneficiarios del canal San Marcos II.

#### **3.3.2. Población de estudio**

El sistema de riego de los sectores o caseríos Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa beneficiarios del canal San Marcos II – Chuquiamo, provincia de San Marcos-Cajamarca”.

#### **3.3.3. Muestra**

Para la selección de la muestra, se realizó el reconocimiento de todo el sistema empezando con la captación ubicado en el caserío Limapampa, continuando con la conducción, desde la salida de la captación, llegando al primer sifón en el caserío Limapampa, siguiendo el recorrido , pasando por los túneles entre los caseríos Limapampa y el Alizal, luego el tramo en el caserío El Alizal hasta el segundo sifón que cruza el río Muyoc y por último desde la salida del sifón el caserío Chuquiamo hasta el lateral H2 en el caserío Marcopampa,

se evidencio deterioro estructural en todos sus tramos y se seleccionó la muestra más adecuada, es decir, en este caso parte del canal que represente el estado de toda la conducción, el inicio de este tramo representativo está ubicado a 30 metros después de la salida del sifón que cruza el rio Muyoc en el caserío Chuquiamo, el kilómetro de muestra es desde el kilómetro 4.0 hasta el kilómetro 5.0 aproximadamente, teniendo las progresivas 0+00 a inicio, a los 550 metros la progresiva 0+550 y a los 1000 metros es la progresiva 1+000 aproximadamente, luego se tomó las coordenadas de estos tres puntos, los cuales fueron medidos y señalados en el canal. Para la muestra en la distribución se tomó en cuenta la misma metodología que se utilizó para la conducción, identificando que los canales de muestra reúnan todas las condiciones de los canales de distribución los cuales en su totalidad presentan deterioro estructural por el tiempo de construcción; las muestras fueron ubicados en los caseríos de El Alizal en el lateral “A” que es canal de tierra sin revestimiento con una longitud de 220 m de muestra representativa, Chuquiamo lateral “D” canal revestido de concreto con una longitud de 250 m de muestra representativa y Marcopampa lateral “F” canal revestido de concreto con una longitud de 650 m de muestra representativa; haciendo la excepción del caserío Limapampa ya que todos los terrenos de cultivo están al bordo del canal de conducción. Las secciones típicas de estos canales son de secciones rectangulares de entre 0.3 metros de ancho por 0.40 metros de alto, hasta 0.4 metros de ancho por 0.5 metros de alto, teniendo a la entrada de cada canal de distribución una compuerta de regulación de caudal tipo gusano de las mismas medidas del canal de distribución.

Por lo tanto, como muestras representativas del sistema se tuvo; la captación, 1.0 km del canal conducción, 3 tramos de muestra representativa los canales de distribución que van a las cinco parcelas de muestra representativa de toda el área de cultivo de aplicación en cuatro sectores de riego, del sistema de riego San Marcos II – Chuquiamo, distrito Pedro Gálvez,

provincia de San Marcos, departamento de Cajamarca, y la evaluación del funcionamiento del canal en operación y mantenimiento.

### 3.3.4. Unidad de análisis

Las partes del sistema de riego (captación, conducción, distribución) y las parcelas de muestra beneficiadas del sistema de riego del canal San Marcos II – Chuquiamo.

### 3.3.5. Unidad de observación

La observación directa de los tramos del canal (captación, conducción y distribución) evaluados durante su funcionamiento. Y las cinco parcelas agrícolas ubicadas en los cuatro sectores de riego del sistema del canal San Marcos II – Chuquiamo.

## 3.4. Procedimiento para el desarrollo de la investigación.

Para cumplir con los objetivos de este estudio, se llevaron a cabo diversos procedimientos organizados, detallados a continuación.

### 3.4.1. Recopilación y selección de la información para la investigación

En la primera etapa de la investigación, se realizó la revisión de diferentes fuentes artículos, tesis, manuales, libros, revistas, etc., se descargó los datos de límites departamentales, provinciales y distritales del Perú, además se solicitó a la junta directiva los permisos y documentos pertinentes al canal como delimitaciones, cantidad de usuarios, etc; se recopiló información de los terrenos de cultivo representativos, y de los datos de precipitaciones ,temperatura y humedad del ANA y SENAMHI de la estación San Marcos.

#### Tabla 20:

Información para el desarrollo de tesis.

Información	Fuente	Formato
Información Hidrológica	SENAMHI/ANA	Xls.
Límites departamentales, provinciales y distritales	GEO GPS Perú/INEI	Shp, .dwg
Delimitación del sistema de riego	Junta de usuarios	físico
Relación de usuarios	Junta de usuarios	físico

### **3.4.1.1. Análisis documental**

Mediante esta técnica se recopiló y analizó la información necesaria de la zona de estudio para poder realizar la investigación. Esta información consta en la recopilación bibliográfica como son las tesis, guías, artículos científicos, libros, data entregada por la junta directiva, entre otros; relacionados con la problemática de la investigación.

### **3.4.2. Ubicación e identificación del área de estudio**

Para este punto se utilizó la información brindada por los representantes del comité de usuarios de agua del canal de riego San Marcos II, el cual es el encargado de administrar el riego en la zona de estudio, tales como un plano de identificación de la zona bajo riego, datos del padrón de usuarios del servicio del canal de riego con sus respectivas área de predios que irrigan, también se utilizó la ayuda de mapas satelitales los cuales son de suma importancia, utilizándolo para delimitar la zona de riego y conocer el recorrido del canal.

### **3.4.3. Identificación de los puntos de aforo en el sistema de riego**

Se hizo el reconocimiento de la zona de estudio, como la captación, canal de conducción, distribución y algunas parcelas de aplicación, cuando se realizó la selección de los puntos de monitoreo o aforo se tuvo que tener en cuenta los aspectos considerados en la revisión de la teoría (*Ítem 2.2.10 Eficiencia del sistema de riego (E<sub>Fr</sub>)*) el cual tiene cuatro apartados; (*ítem 2.2.10.1 Eficiencia de captación de un sistema de riego (E<sub>c</sub>)*) la medición del caudal se localizó justo a la salida del bocal de captación, para realizar el aforo se utilizó el correntómetro como método base, flotador y tubo de Pitot (*ítem 2.2.10.2 Eficiencia de conducción en canales de riego (E<sub>fc</sub>)*) la ubicación de estos puntos de aforo fue en el kilómetro me muestra, el cual reúne todas las características presentes a lo largo de todo el canal de conducción y se utilizara el correntómetro como método base, flotador y tubo de Pitot para la medición del caudal (*ítem 2.2.10.3 Eficiencia de distribución en canales de riego (E<sub>fd</sub>)*) los puntos de aforo fueron

elegidos de acuerdo a la repartición de riego hacia las parcelas de cultivo, que fueron las muestras representativas, para aforar se utilizó el correntómetro como método base, flotador y tubo de Pitot si es que fuese posible . (*ítem 2.2.10.4 Eficiencia de Aplicación de un sistema de riego (Efa)*) la medición del caudal fue justo a la entrada de la parcela de muestra.

#### **3.4.3.1. Identificación del punto de aforo de la fuente de oferta hídrica (río)**

Estos puntos fueron seleccionados debido a que reunían todos los requisitos para realizar la medición de caudales en un río de montaña y utilizar los diferentes métodos de aforo como son el correntómetro como método base, tubo de Pitot y flotador, el lugar seleccionado se encuentra a 54 metros aguas arriba de la captación, tomados con GPS navegador.

#### **3.4.3.2. Identificación del punto de aforo en la captación**

En este caso se tomó el punto a 15 metros después de la ventana de captación la cual es de sección rectangular y cuenta con las características apropiadas para realizar el aforo por los tres diferentes métodos, como son el correntómetro como método base, tubo de Pitot y flotador.

#### **3.4.3.3. Identificación de los puntos de aforo en la conducción**

Los puntos seleccionados fueron en el tramo donde presenta las características de todo el canal de conducción, para ello fue necesario una inspección visual de todo el canal para poder identificar los puntos estratégicos para la utilización de los tres diferentes métodos, como son el correntómetro, tubo de Pitot y flotador; el tramo elegido fue entre la progresivas 4+ 00 a 5+00 del canal; teniendo tres puntos de aforo en total, 0 metros, a los 550 metros y el último a los 1000 metros aproximadamente, todo el tramo ubicado en el caserío Chuquiamo.

#### **3.4.3.4. Identificación de los puntos de aforo en la distribución**

Fueron dos puntos, el primero justo después de la repartición del canal de conducción y el siguiente aforo fue antes de la entrada a la parcela de muestra, esta distancia fue adecuada para calcular la eficiencia de distribución tomando en cuenta el método de aforo más

conveniente, para una mejor toma de datos, se tomó de muestra los canales de distribución que llegan a los terrenos de cultivo que fueron unidad de análisis.

#### **3.4.3.5. Identificación de los puntos de aforo en la aplicación a las parcelas de cultivo**

Estos caudales fueron medidos a la entrada de la parcela de muestra a irrigar, y según características del canal se utilizó el método de aforo adecuado.

#### **3.4.4. Medición de caudales en el sistema de riego en estudio**

Se hizo la medición de los caudales en los puntos del sistema ya identificados, para ello se tiene la explicación en el (2.2.9.1 *Métodos para la medición de caudales en canales*) por las condiciones presentadas en los diferentes puntos de medición, se utilizó los tres métodos el primero es el método del correntómetro como método base (*ítem 2.2.9.1.1 Medición de caudales con el Método del o Correntómetro Molinete*), para señalar la sección del canal se colocó una estaca pintada al borde del canal y se calculó el área de la sección; el segundo método es el de flotador (*ítem 2.2.9.1.2 Medición de caudales con el Método del Flotador*) para la medicación con este método se marcó con estacas pintadas en el canal una distancia de 10 metros, se calculó el área de la sección, también el tiempo que tarda el flotador en recorrer la distancia anteriormente mencionada y por último, el Tubo de Pitot (*ítem 2.2.9.1.3 Medición de caudales con Tubo de Pitot*). Se utilizó la misma metodología del correntómetro y se verificó la altura del agua en el tubo en relación al nivel del espejo de agua.

#### **3.4.5. Levantamiento topográfico de la captación y de las parcelas de muestra**

Este levantamiento topográfico de la captación se realizó con ayuda de una estación total marca y modelo “TRIMBLE S7”, ya que por temas de vegetación no se puede realizar con otros equipos; los levantamientos de los cinco terrenos de cultivos de muestra se realizaron con dron de marca y modelo “MAVIC 1 AIRS”, con la asesoría del piloto RPAS Ing. Lizz Vásquez Eneque, quien está acreditada por el ministerio de transporte y comunicaciones.

### **3.4.6. Caracterización de la infraestructura de riego**

La caracterización de la infraestructura de riego se empezó por la captación, revisando el estado en que se encuentra los diferentes elementos que lo conforman que podemos encontrar en el (*ítem 2.2.11.2 Elementos de una Bocatoma*), el canal de conducción y distribución se caracterizaron justo en el tramo representativo seleccionado (*ítem 2.2.12.2.2 Deformaciones en canales (grietas, roturas y fisuras)*), y por último fue las compuertas de distribución.

### **3.4.7. Caracterización de los terrenos agrícolas y método de riego utilizados**

#### **3.4.7.1. Caracterización de los terrenos agrícolas**

Para esto se tomó en cuenta las recomendaciones dadas por INIA en su folleto de “Toma de muestra y análisis de suelo agrícola”, aunque la caracterización básicamente se centró en las características hídricas, pero también se pudo definir las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo de cada una de las cinco parcelas de muestra, para beneficio de los usuarios; se siguió los siguientes pasos según el folleto: (Cervantes, M. 2023)

- a) Se define el área de la parcela, teniendo en cuenta color de suelo y pendiente.
- b) Es recomendable tomar de cada parcela de 10 a 16 sub muestras de diferentes partes de la parcela tratando de hacer una cuadrícula, obteniendo una representativa.
- c) En cada toma de sub muestra se tiene que realizar un hoyo de 20 a 30 centímetros, con ayuda de una pala recta, basándose en la profundidad radicular.
- d) Teniendo el hoyo hecho, tomar una tajada de 20 a 30 de profundidad y de grosor de 3 a 4 centímetros y del centro tomar 5 centímetros de toda la tajada.
- e) Esta submuestra se coloca en una manta limpia y se repite el procedimiento.
- f) Después, se mezcla desterronando con las manos y eliminado piedras y raicillas.
- g) Dividimos en cuatro partes y vamos descartando partes opuestas del suelo, hasta obtener 1000 a 1200 gramos de muestra.

- h) Por último, este suelo se coloca en una bolsa de plástico nueva, se amarra y se rotula en la parte superior con una etiqueta con la siguiente información

**Figura 13:**

*Etiqueta de identificación de muestra.*

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

Cliente: .....

Propietario/Productor:.....

DNI / RUC: .....

Parcela/Lote: .....

Sector/Comunidad/Caserío: .....

Distrito: ..... Provincia:..... Departamento: .....

Ubicación UTM:...../...../..... Altitud:.....

Fecha de muestreo: ...../...../.....

Cultivo anterior: .....

Cultivo a instalar o mantenimiento:.....

Tipo de análisis: .....

Fecha de Recepción: ...../...../.....

Cód. Lab:.....

Fuente: (Cervantes, M. 2023)

#### **3.4.7.1.1. Análisis de la de las muestras en el laboratorio**

La finalidad fue determinar los componentes y las propiedades hídricas de las muestras de suelo correspondientes a las cinco parcelas seleccionadas. Con base en los resultados obtenidos, fue posible elaborar la cédula de cultivo. (Cervantes, M. 2023)

#### **3.4.7.1.2. interpretación de resultados**

Los resultados fueron interpretados gracias a valores dados por normas referenciales a los diferentes ensayos que se realizaron en el laboratorio como; pH, conductividad eléctrica, textura, acidez intercambiable, carbonatos, materia orgánica, fosforo, potasio y parámetros hídricos los cuales fueron los más importantes para esta investigación. (Cervantes, M. 2023)

### **3.4.7.2. Caracterización de los métodos de riego utilizados**

Mediante la observación se verificó los métodos de riego más utilizados en la zona de estudio, siendo un factor muy importante para determinar la eficiencia de aplicación a nivel parcela (*ítem 2.2.1. Sistemas de riego por gravedad*). Para el comportamiento del agua en el riego se hizo pruebas de infiltración con cilindros infiltrómetros y pruebas de avance del riego en surcos descritos en el (*ítem 2.2.5 Movimiento del Agua en el Riego*).

### **3.4.8. Evaluación de la operación y mantenimiento del sistema de riego**

Se logró mediante la evaluación visual, teniendo en cuenta la teoría revisada anteriormente (*ítem 2.2.13 Operación de la infraestructura del sistema de riego*), (*ítem 2.2.14 Mantenimiento de la infraestructura del sistema de riego*), esta parte nos ayudó a entender el funcionamiento y el estado de mantenimiento que deben de tener las estructuras; se realizó una pequeña capacitación personal a cada propietario de las parcelas, sobre los beneficios de un buen manejo del recurso hídrico, como evitar pérdidas por escurrimiento a la hora el riego y tener sus entradas limpias de vegetación para que el agua tenga mejor fluidez.

### **3.4.9. Procesamiento de la información cartográfica y topográfica**

Se procesó la información recopilada para el análisis de los límites del área de estudio, así como también la ubicación de los puntos de aforo, para esto tuvimos las coordenadas de la captación, padrón de usuarios del canal de riego, e información brindada por la junta directiva como el plano de parcelación y ubicación; también se contó con el levantamiento topográfico de los terrenos de cultivo de muestra y de la captación.

### **3.4.10. Estudio hidrológico y climatológico de la zona de estudio**

El procesamiento de la información hidrológica y climatológica, la cual radicó en la determinación de elementos como la precipitación mensual, temperatura media, dirección y velocidad del viento, los cuales influyeron de gran manera en el sistema de riego.

Para la obtención de estos datos se contó con la estación meteorológica automática “San Marcos” que tiene información desde junio del año 1975 hasta la actualidad, si es que hubo algún dato faltante se completó con la información del ANA.

- a. **Temperatura:** se puede clasificar como máximas y mínimas, para realizar el cálculo de esta se puede hacer con la media aritmética de todos los datos máximos y mínimos de todos los años que se tenga disponibilidad, para este estudio se utilizó la estación automática “San Marcos” desde el año 1975 hasta la actualidad.
- b. **Precipitación:** es uno de los factores más importantes a considerar, para el cálculo de la precipitación media mensual se utiliza la media aritmética de la información mensual de todos los años que se tenga disposición, para este estudio se utilizó la estación automática “San Marcos” desde el año 1975 hasta la actualidad.
- c. **Humedad:** el viento también puede influenciar en la eficiencia de un sistema de riego, es por ello que se puede tener los registros necesarios de la estación automática “San Marcos” desde el año 2018 hasta la actualidad.

### **3.4.11. Eficiencia de sistema de riego**

Con la medición de los caudales desde la captación, conducción, distribución y aplicación; obteniendo una eficiencia de funcionamiento de cada parte del sistema, se calculó de la eficiencia de funcionamiento del sistema de riego, teniendo en cuenta las condiciones de las estructuras del sistema, las condiciones climáticas, la operación y mantenimiento de parte de los usuarios y las características de los terrenos agrícolas de muestra.

#### **3.4.11.1. Determinar la eficiencia de captación**

Se determinó de acuerdo al procedimiento descrito en el (*ítem 2.2.10.1 Eficiencia de captación de un sistema de riego Ec*), ya que se tuvo los caudales de captación medidos a lo largo de la investigación.

#### **3.4.11.2. Determinar la eficiencia de conducción**

Se determinó de acuerdo al procedimiento descrito en el (*ítem 2.2.10.2 Eficiencia de conducción en canales de riego Efc*), ya que se tuvo los caudales de conducción medidos a lo largo de la investigación.

#### **3.4.11.3. Determinar la eficiencia de distribución**

Se determinó de acuerdo al procedimiento descrito en el (*ítem, 2.2.10.3 Eficiencia de distribución en canales de riego (Efd)*), ya que se tuvo los caudales de distribución medidos a lo largo de la investigación.

#### **3.4.11.4. Determinar la eficiencia de aplicación a nivel de parcela**

Se determinó de acuerdo al procedimiento descrito en el (*ítem, 2.2.10.4 Eficiencia de Aplicación de un sistema de riego (Efa)*) ya que se tuvo los caudales de aplicación medidos a lo largo de la investigación y las pruebas de campo como infiltración y de avance.

#### **3.4.12. Demanda de agua para el proyecto**

Este fue un punto importante, ya que es la cantidad de agua necesaria para el proyecto; se empieza con la demanda de agua o requerimiento de cultivo, el cálculo de la demanda de agua se realizó a partir de la cédula de cultivo, de los cultivos a irrigar como se describe en el (*ítem 2.2.7 Demanda de agua de los cultivos o requerimiento neto*), los cuales en su mayoría fueron alfalfa, papa y algunos pastos naturales, es por ello que se mandó a realizar los análisis pertinentes del suelo en INIA, de donde se obtuvo un informe detallado; también se contó con la información de oferta hídrica los cuales fueron hallados con los aforos del caudal del río Muyoc realizados en los meses de julio, agosto y septiembre, y con los aforos realizados a la entrada de las parcelas de cultivo de muestra. Finalmente se obtuvo la demanda de todo el proyecto extendiendo los resultados de las cinco parcelas como se describe en el (*Ítem 2.2.8 Demanda de agua del proyecto o requerimiento bruto*).

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Etapa inicial del trabajo de investigación**

#### **4.1.1. Identificación del área de estudio**

##### **4.1.1.1. Oferta hídrica**

El área agrícola en estudio toma el agua del río Huayobamba o llamado aguas arriba de la ciudad de San Marcos como río Muyoc el cual proporcionan todos los recursos hídricos en época de estiaje para el proyecto.

##### **4.1.1.2. Actividades económicas en el área de estudio**

###### **4.1.1.2.1. Agricultura**

La provincia de San Marcos es reconocida por su buena capacidad agrícola, es por ello que tiene el seudónimo de “Granero del Norte”, el área de estudio cuenta con 254.47 hectáreas de las cuales 221.62 ha son bajo riego y casi en su totalidad agrícolas con siembras principales de alfalfa, papa, maíz, pastos naturales y algunos frutales en menor cantidad.

###### **4.1.1.2.2. Ganadería**

Las actividades ganaderas casi siempre van de la mano con la agricultura es por ello que, en el distrito de Pedro Gálvez, se cría y se comercializa ovinos, vacunos, porcinos y caprinos; también prima la crianza animales menores como producción de cuyes, conejos y gallinas.

###### **4.1.1.3. Población beneficiaria**

El distrito de Pedro Gálvez según censo nacional del 2017 cuenta con una población de 21509 habitantes. En cuanto a los usuarios del sistema de riego de los caseríos Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa según la junta directiva son 312 usuarios del canal de riego.

## 4.2. Etapa de campo de la investigación

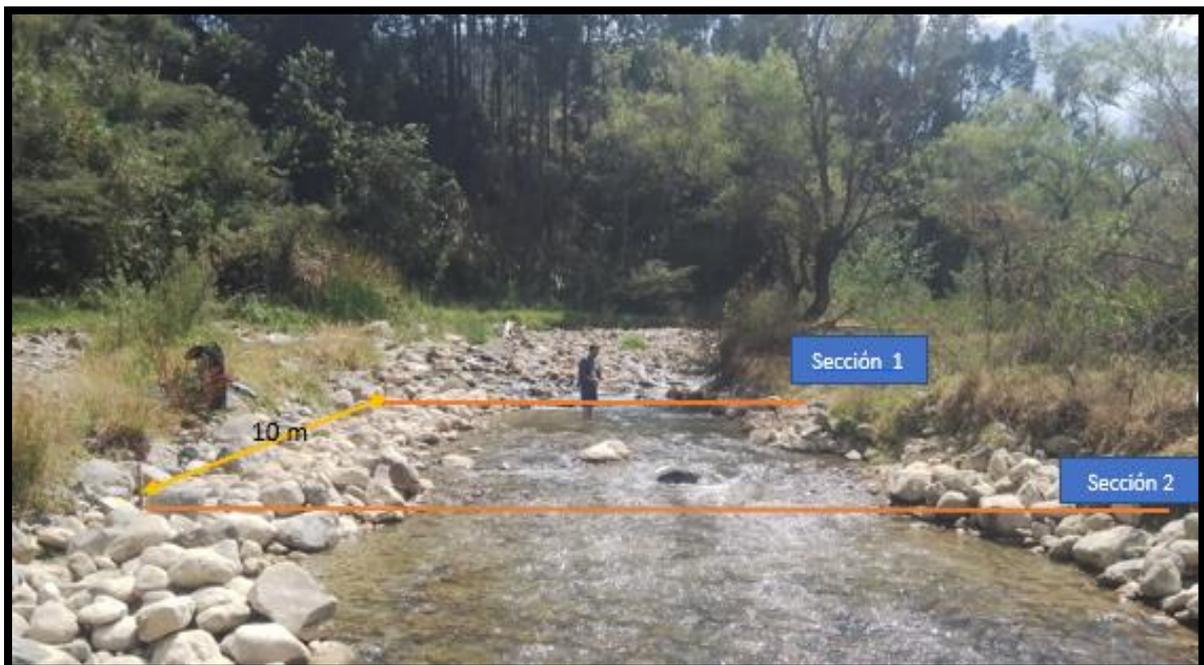
### 4.2.1. Puntos de aforos en el sistema de riego

#### 4.2.1.1. Aforos en la fuente de oferta hídrica (río)

Para los aforos, primero se verificó que es un característico río de montaña con tramos donde la pendiente es relativamente pronunciada, y se buscó el tramo del río que reúnan las condiciones adecuadas para utilizar los diferentes métodos de medición de caudales, marcando el punto y hallando sus coordenadas; luego se realizó la limpieza de la sección la que consta de eliminar del lecho del río piedras de tamaño considerable las cuales habían sido arrastradas por la corriente, facilitando así las actividades de aforo. Posteriormente se midió el ancho del río y todo lo necesario para la utilización del método del correntómetro, tubo de Pitot y flotador; ya que se utilizó los tres métodos para la medición de caudales teniendo como base al correntómetro, como se muestra en la siguiente figura.

#### Figura 14:

*Punto de medición de caudales en el río Muyoc.*



**Tabla 21:**

Coordenadas del punto de aforo en el río Muyoc.

Punto de aforo en el Río Muyoc	
Altitud	2450 m.s.n.m.
Latitud	7°17'24.08"
Longitud	78°09'16"
Coordenadas Este	814222.4
Coordenadas Norte	9193199.3

Las coordenadas fueron tomadas con GPS navegador marca Garmin modelo GPSMAP 64sx, el cual traja con la conexión de 8 satélites.

**Tabla 22:**

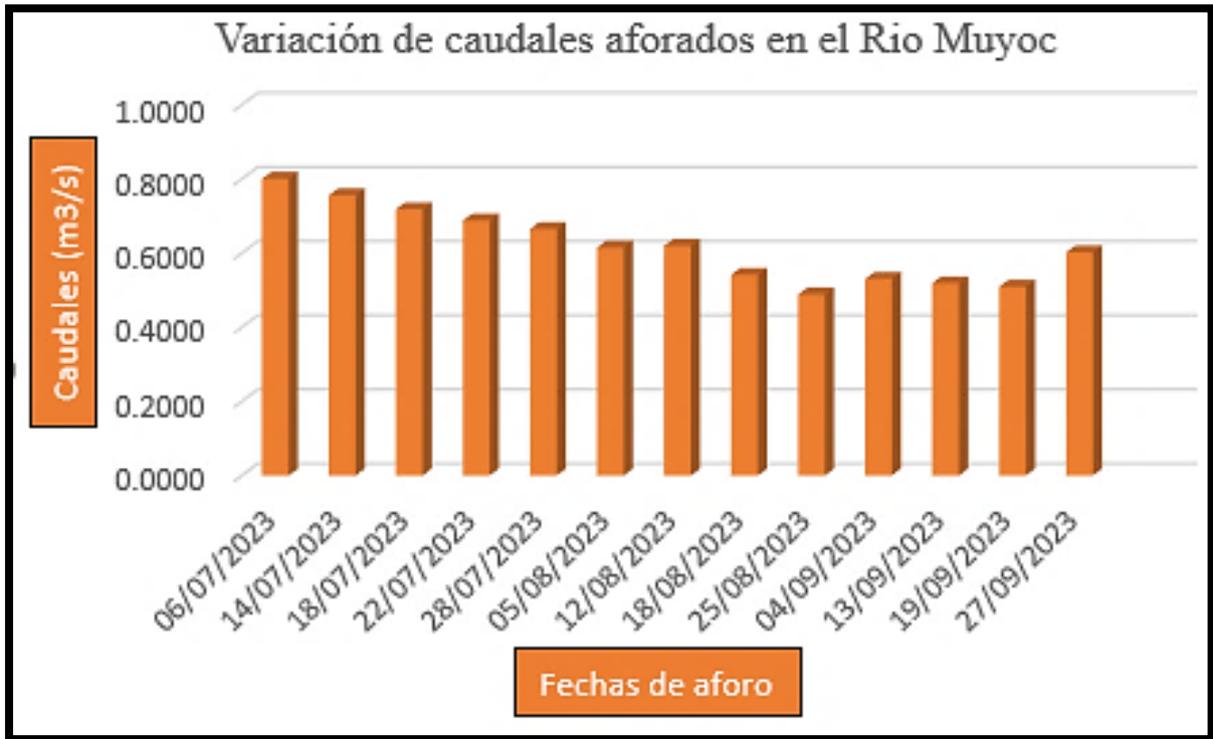
Caudales aforados en el río Muyoc.

Caudales aforados en el río Muyoc						
Aforo N°	Fecha	Hora	Caudales (m <sup>3</sup> /s)			
			Correntómetro	Pitot	flotador	Promedio
1	06/07/2023	07:05:00 a.m.	0.7877	0.7968	0.8174	0.8006
2	14/07/2023	09:00:00 a.m.	0.7494	0.7550	0.7637	0.7561
3	18/07/2023	07:20:00 a.m.	0.7158	0.7029	0.7363	0.7183
4	22/07/2023	08:40:00 a.m.	0.6674	0.6815	0.7152	0.6880
5	28/07/2023	08:30:00 a.m.	0.6338	0.6694	0.6923	0.6651
6	05/08/2023	03:00:00 p.m.	0.6120	0.6151	0.6174	0.6148
7	12/08/2023	10:50:00 a.m.	0.6260	0.6189	0.6131	0.6193
8	18/08/2023	04:00:00 p.m.	0.5328	0.5506	0.5408	0.5414
9	25/08/2023	04:20:00 p.m.	0.4848	0.4966	0.4835	0.4883
10	04/09/2023	02:00:00 p.m.	0.5367	0.5352	0.5201	0.5307
11	13/09/2023	08:30:00 a.m.	0.5112	0.5209	0.5244	0.5189
12	19/09/2023	04:00:00 p.m.	0.5034	0.5144	0.5095	0.5091
13	27/09/2023	07:30:00 a.m.	0.6084	0.6058	0.5922	0.6021

En el siguiente cuadro tenemos la data de los aforos realizados a lo largo de tres meses, en época de estiaje empezando en el 6 de julio del 2023, hasta el 27 de septiembre del 2023; los caudales fueron calculados por tres métodos de aforo, correntómetro, tubo de Pitot y flotador tomando como base al correntómetro por ser un equipo calibrado. Podemos observar que a finales del mes de agosto es el mes donde la oferta hídrica tiene sus valores más bajos respecto al caudal llegando a 488.3 l/s.

**Figura 15:**

*Variación de caudales aforados en el Rio Muyoc.*



Desde la segunda semana de septiembre se puede observar un ligero aumento del caudal ya que para las zonas altas de la cuenca hubo presencia de precipitaciones.

#### **4.2.1.2. Aforos en la captación del sistema de riego**

Se realizó el reconocimiento de la zona de captación y se hizo la selección del punto, tomando las coordenadas de este, es un canal de sección rectangular que tiene 1.20 m de profundidad por 1.00 m de ancho, el caudal máximo de captación es de hasta 485 L/S según resolución directoral N° 887-2014-ANA-AAA.M, si se pueden realizar los tres métodos de aforo que son el método del correntómetro, tubo de Pitot y método de flotador, tomando como base al método del correntómetro por ser un equipo calibrado.

**Figura 16:**

*Sección de medición de caudales de captación.*



Canal de sección rectangular utilizado para la medición de caudales, para hallar la eficiencia de captación y el volumen de agua que ingresa al sistema.

**Tabla 23:**

Coordenadas de los puntos de aforo de la captación.

captación	
Altitud	2448 m.s.n.m.
Latitud	7°17'15.7"
Longitud	78°09'33"
Coordenadas Este	813699
Coordenadas Norte	9193136

Las coordenadas fueron tomadas con GPS navegador marca Garmin modelo GPSMAP 64sx, el cual traía con la conexión de 8 satélites, por lo tanto, estas coordenadas tomadas tienen concordancia con las coordenadas que tiene en la resolución del ANA del año 2014.

**Tabla 24:**

Aforros realizados en la captación del canal San Marcos II, tomado como base el método del correntómetro.

Caudales aforados en la captación San Marcos II							Caudal de máxima eficiencia (m <sup>3</sup> /s)	Eficiencia de captación (%)
Aforo N°	Fecha	Hora	Caudales (m <sup>3</sup> /seg.)					
			Correntómetro	Pitot	flotador	Promedio		
1	07/07/2023	09:50:00 a.m.	0.3886	0.3763	0.3706	0.3785	0.485	78.04
2	14/07/2023	10:30:00 a.m.	0.3768	0.3687	0.3684	0.3713	0.485	76.56
3	19/07/2023	04:15:00 p.m.	0.3880	0.3837	0.3860	0.3859	0.485	79.56
4	22/07/2023	08:00:00 a.m.	0.3866	0.3973	0.3928	0.3922	0.485	80.87
5	28/07/2023	10:40:00 a.m.	0.3844	0.3960	0.3872	0.3892	0.485	80.25
6	05/08/2023	04:40:00 p.m.	0.4142	0.4159	0.4196	0.4166	0.485	85.89
7	12/08/2023	12:40:00 a.m.	0.4202	0.4184	0.4197	0.4194	0.485	86.48
8	18/08/2023	05:40:00 p.m.	0.3660	0.3629	0.3637	0.3642	0.485	75.09
9	25/08/2023	05:50:00 p.m.	0.4138	0.4150	0.4186	0.4158	0.485	85.73
10	04/09/2023	04:30:00 p.m.	0.4178	0.4138	0.4173	0.4163	0.485	85.84
11	13/09/2023	09:40:00 a.m.	0.3470	0.3452	0.3472	0.3465	0.485	71.44
12	19/09/2023	05:30:00 p.m.	0.3586	0.3601	0.3593	0.3593	0.485	74.09
13	27/09/2023	08:40:00 a.m.	0.4165	0.4207	0.4137	0.4170	0.485	85.98

El mayor caudal aforado por ende mayor eficiencia de funcionamiento fue registrada a finales del mes de agosto con 86.48%, y la menor fue registrada en el mes de septiembre con 71.44 %.

#### 4.2.1.3. Aforos en la conducción del sistema de riego

Se realizó el reconocimiento toda la conducción, desde la salida de la captación, luego llegando al primer sifón siguiendo el recorrido por el caserío Limapamapa, pasando por los túneles entre los caseríos Limapampa y el Alizal, siguiendo el tramo en el caserío El Alizal hasta el segundo sifón que cruza el río Muyoc y por último desde la salida del sifón el caserío Chuquiamo hasta el lateral H2 en el caserío Marcopampa, se evidenció deterioro estructural en todos sus tramos y se seleccionó la muestra más adecuada, es decir, en este caso parte del canal que represente el estado de toda la conducción, el inicio de este tramo representativo está ubicado a 30 metros después de la salida del sifón que cruza el río Muyoc en el caserío Chuquiamo, la muestra es desde el kilómetro 4.0 hasta el kilómetro 5.0 aproximadamente, teniendo las progresivas 0+00 a inicio, a los 550 metros la progresiva 0+550 y a los 1000 metros

la progresiva 1+000 aproximadamente, quedando marcados en el canal.

**Figura 17:**

*Sección de medida de caudales en la progresiva 0+000.*



**Figura 18:**

*Sección de medida de caudales en la progresiva 0+550.*



**Figura 19:**

*Sección de medida de caudales en la progresiva 1+000.*



El canal de conducción es de sección trapezoidal, revestido de concreto simple y juntas de material bituminosos ubicado de 2 a 3 m., tiene una base o ancho de solera de 0.45 m., talud de 0.65 m., un borde libre de 0.1 m. y un ancho total del canal de 1.20 m.

**Tabla 25:**

Coordenadas de los puntos de aforo en la conducción del sistema de riego.

Conducción (progresiva 0+000)	
Altitud	2422 m.s.n.m.
Coordenadas Este	813237.4
Coordenadas Norte	9190493.1
Conducción (progresiva 0+500)	
Altitud	2418 m.s.n.m.
Coordenadas Este	813682.1
Coordenadas Norte	9190284.3
Conducción (progresiva 1+000)	
Altitud	2414 m.s.n.m.
Coordenadas Este	813966.8
Coordenadas Norte	9190012.5

Las coordenadas de los puntos de aforo en la conducción fueron tomadas con GPS navegador marca Garmin modelo GPSMAP 64sx, el cual traja con la conexión de 8 satélites.

**Tabla 26:**

Aforos en la progresiva 0+00, 0+500 y 1+000 del tramo de muestra de la conducción en el mes de julio del 2023.

Aforos en la conducción del sistema de riego en el mes de julio del 2023										
N°	Fecha	Hora de medición	Canal de conducción:				Nombre de Canal de distribución	Pérdidas en cond. (l/s)	Efc (%)	
			Prog.	Caudal (m3/s)						
				Corrent.	T. Pit.	Flot.				Prom.
1	08-jul	09:10 a.m.	0+000	0.1140	0.1283	0.1206	0.1210	-	-	
								lat. A1, A2	-	99.47
	08-jul	10:30 a.m.	0+550	0.1069	0.1373	0.1168	0.1203	-	0.637	
								lateral B	-	99.08
	08-jul	11:00 a.m.	1+000	0.1130	0.1290	0.1156	0.1192	-	1.107	
Eficiencia de conducción en un 1 km										98.56
2	13-jul	10:20 a.m.	0+000	0.1159	0.1224	0.1176	0.1186	-	-	
								lat. A1, A2	-	99.98
	13-jul	10:30 a.m.	0+550	0.1149	0.1262	0.1146	0.1186	-	0.028	
								lateral B	-	98.75
	13-jul	11:00 a.m.	1+000	0.1112	0.1228	0.1174	0.1171	-	1.479	
Eficiencia de conducción en un 1 km										98.73
3	20-jul	03:40 p.m.	0+000	0.0593	0.0608	0.0640	0.0614	-	-	
								lat. A1, A2	-	99.84
	20-jul	04:30 p.m.	0+550	0.0577	0.0637	0.0624	0.0613	-	0.097	
								lateral B	-	98.94
	20-jul	05:00 p.m.	1+000	0.0585	0.0610	0.0624	0.0606	-	0.648	
Eficiencia de conducción en un 1 km										98.79
4	25-jul	05:10 p.m.	0+000	0.1055	0.1112	0.1148	0.1105	-	-	
								lat. A1, A2	-	99.47
	25-jul	05:50 p.m.	0+550	0.0989	0.1177	0.1131	0.1099	-	0.586	
								lateral B	-	99.24
	25-jul	06:10 p.m.	1+000	0.0984	0.1168	0.1121	0.1091	-	0.832	
Eficiencia de conducción en un 1 km										98.72
Eficiencia promedio en 1 km en el mes de julio										98.70

Como se muestra en el cuadro la eficiencia de funcionamiento de la conducción esta entre 98.56% medido el 08 de julio y 98.79% medido el 20 de julio, habiendo una diferencia de porcentaje de 0.23 % lo cual no es una gran diferencia teniendo en cuenta el volumen de agua trasportado; la eficiencia de funcionamiento promedio del sistema es de 98.70%.

**Tabla 27:**

Aforos en la progresiva 0+00, 0+500 y 1+000 del tramo de muestra de la conducción en el mes de agosto del 2023.

Aforos en la conducción del sistema de riego en el mes de agosto del 2023										
N°	Fecha	Hora de medición	Canal de conducción:				Nombre de Canal de distribución	Pérdidas en cond. (l/s)	Efc (%)	
			Prog.	Caudal (m3/s)						
				Corrent.	T. Pit.	Flot.				Prom.
5	04-ago	05:40p.m.	0+000	0.1095	0.1124	0.1154	0.1124	-	-	
								lat. A1, A2		99.09
	04-ago	06:10 p.m.	0+550	0.1064	0.1126	0.1151	0.1114	-	1.026	
								lateral B		99.72
	04-ago	06:40 p.m.	1+000	0.1024	0.1160	0.1149	0.1111	-	0.315	
Eficiencia de conducción en un 1 km										98.81
6	13-ago	08:00 a.m.	0+000	0.1133	0.1168	0.1147	0.1149	-	-	
								lat. A1, A2	51.05	99.62
	13-ago	08:25 a.m.	0+550	0.0589	0.0672	0.0642	0.1145	-	0.43	
								lateral B	39.82	99.08
	13-ago	08:50 a.m.	1+000	0.0187	0.0249	0.0242	0.1134	-	1.054	
Eficiencia de conducción en un 1 km										98.71
7	23-ago	04:00 p.m.	0+000	0.1154	0.1193	0.1175	0.1174	-	-	
								lat. A1, A2	-	99.43
	23-ago	04:30 p.m.	0+550	0.1122	0.1190	0.1190	0.1167	-	0.675	
								lateral B	-	99.21
	23-ago	05:20 p.m.	1+000	0.1109	0.1189	0.1176	0.1158	-	0.928	
Eficiencia de conducción en un 1 km										98.63
8	31-ago	11:00 a.m.	0+000	0.1050	0.1054	0.1075	0.1059	-	-	
								lat. A1, A2	-	98.90
	31-ago	11:30 a.m.	0+550	0.1035	0.1050	0.1058	0.1048	-	1.169	
								lateral B	-	99.93
	31-ago	11:50 a.m.	1+000	0.1025	0.1060	0.1057	0.1047	-	0.070	
Eficiencia de conducción en un 1 km										98.83
Eficiencia promedio en 1 km, en el mes de agosto										98.74

Como se muestra en el cuadro la eficiencia de funcionamiento en la conducción esta entre 98.71 % medido el 13 de agosto y 98.83% medido el 31 de agosto habiendo una diferencia de porcentaje de 0.12 %, lo cual no es una gran diferencia teniendo en cuenta el volumen de agua transportado; la eficiencia de funcionamiento promedio es de 98.74% parecida al mes de septiembre.

**Tabla 28:**

Aforos en la progresiva 0+00, 0+500 y 1+000 del tramo de muestra de la conducción en el mes de septiembre del 2023.

Aforos en la conducción del sistema de riego en el mes de septiembre del 2023										
N°	Fecha	Hora de medición	Canal de conducción:				Nombre de Canal de distribución	Pérdidas en cond. (l/s)	Efc (%)	
			Prog.	Caudal (m3/s)						
				Corrent.	T. Pit.	Flot.				Prom.
9	06-sep	09:15 a.m.	0+000	0.0970	0.0970	0.0950	0.0963	-	-	
								lat. A1, A2	-	98.91
	06-sep	10:30 a.m.	0+550	0.0977	0.0935	0.0947	0.0953	-	1.052	
								lateral B	-	99.94
	06-sep	11:00 a.m.	1+000	0.0964	0.0937	0.0955	0.0952	-	0.060	
Eficiencia de conducción en un 1 km										98.85
10	15-sep	12:00 p.m.	0+000	0.0649	0.0672	0.0670	0.0664	-	-	
								lat. A1, A2	-	99.34
	15-sep	12:30 p.m.	0+550	0.0644	0.0687	0.0648	0.0659	-	0.440	
								lateral B	-	99.33
	15-sep	12:55 p.m.	1+000	0.0640	0.0687	0.0638	0.0655	-	0.442	
Eficiencia de conducción en un 1 km										98.67
11	25-sep	04:15 p.m.	0+000	0.0990	0.0989	0.0985	0.0988	-	-	
								lat. A1, A2	-	98.91
	25-sep	04:50 p.m.	0+550	0.0979	0.0971	0.0982	0.0977	-	1.074	
								lateral B	-	99.87
	25-sep	05:20 p.m.	1+000	0.0966	0.0970	0.0992	0.0976	-	0.131	
Eficiencia de conducción en un 1 km										98.78
Eficiencia promedio en 1 km, en el mes de septiembre										98.77

Como se muestra, la eficiencia de funcionamiento en la conducción esta entre 98.67% medido el 10 de septiembre y 98.85 % medido el 06 de septiembre, con una diferencia de porcentaje de 0.17 %, lo cual no es una gran diferencia teniendo en cuenta el volumen de agua transportado. En la medida de la eficiencia de funcionamiento en la conducción del sistema no hay mucha diferencia notable a lo largo de los tres meses, entonces la influencia de las características ambientales no es significativa.

#### 4.2.1.4. Aforos en la distribución del sistema de riego

Para realizar los aforos se tomó en cuenta la misma metodología que se utilizó para la distribución utilizando los métodos de aforo más convenientes como correntómetro que

es el método base, flotador y tubo de Pitot. Los aforos se realizaron en los caseríos de El Alizal en el lateral “A” que es canal de tierra sin revestimiento con una longitud de 220 m de muestra representativa, Chuquiamo lateral “D” canal revestido de concreto con una longitud de 250 m de muestra representativa y Marcopampa lateral “F” canal revestido de concreto con una longitud de 650 m de muestra representativa; haciendo la excepción del caserío Limapampa ya que todos los terrenos de cultivo están al bordo del canal de conducción. Las secciones típicas de estos canales son de secciones rectangulares de entre 0.3 metros de ancho por 0.40 metros de alto, hasta 0.4 metros de ancho por 0.5 metros de alto, teniendo a la entrada de cada canal de distribución una compuerta de regulación de caudal tipo gusano.

**Tabla 29:**

Coordenada de los puntos de derivación desde la conducción hacia la distribución de los canales de muestra hacia los terrenos de cultivo.

Compuerta de distribución Limapampa “A”	
Altitud	2431m.s.n.m.
Coordenadas Este	813299.5
Coordenadas Norte	9192900.1
Compuerta de distribución El Alizal lateral "A"	
Altitud	2425m.s.n.m.
Coordenadas Este	813293.3
Coordenadas Norte	9191916.2
Compuerta de distribución Chuquiamo (aspersión) lateral "A2"	
Altitud	2418 m.s.n.m.
Coordenadas Este	813630.4
Coordenadas Norte	9190273.2
Compuerta de distribución Chuquiamo lateral "D"	
Altitud	2417m.s.n.m.
Coordenadas Este	814322.6
Coordenadas Norte	9189634.6
Compuerta de distribución Marcopampa lateral "F"	
Altitud	2412m.s.n.m.
Coordenadas Este	814873.4
Coordenadas Norte	9189354.3

Las coordenadas de los puntos de aforo en la distribución fueron tomadas con GPS navegador marca Garmin modelo GPSMAP 64sx, el cual traja con la conexión de 8 satélites.

**Tabla 30:**

Aforos en la distribución del canal de riego en el mes de julio del 2023

Aforos en la distribución en el mes de julio del 2023											
N°	Canal de dist.	Fecha	Hora de medición	Canal de distribución:				Pérdidas en Dist. (l/s)	Efd (%)	Observaciones	
				Prog.	Caudal (m3/s)						
					Corrent.	T. Pit.	Flot.				Prom.
1	El Alizal, lateral "A"	15-jul	10:50 a.m.	0+000	0.1152	0.1165	0.1180	0.1166	-	-	Sin revestir con presencia de vegetación
					-				1.044	99.10	
		15-jul	11:10 a.m.	0+220	0.1152	0.1155	0.1158	0.1155	-	-	
					-				4.746	-	
			Eficiencia de distribución en un 1 km				0.1118		95.93		
2	Chuquiamo, lateral "D"	18-jul	06:00 p.m.	0+000	0.0665	0.0697	0.0652	0.0671	-	-	revestido con presencia de juntas en mal estado
					-				0.140	99.79	
		18-jul	06:35 p.m.	0+350	0.0658	0.0701	0.0651	0.0670	-	-	
					-				0.399	-	
			Eficiencia de distribución en un 1 km				0.0667	-	99.41		
3	Marcopampa, lateral "F"	19-jul	03:00 p.m.	0+000	0.0775	0.0768	0.0745	0.0763	-	-	revestido y erosionado con presencia de juntas en mal estado
					-				0.204	99.73	
		19-jul	03:40 p.m.	0+650	0.0772	0.0762	0.0748	0.0761	-	-	
					-				0.314	-	
			Eficiencia de distribución en un 1 km				0.0760	-	99.59		
eficiencia promedio en la distribución en 1 Km en el mes de julio									98.31	-	

La mínima eficiencia de funcionamiento, es en el canal sin revestir en el sector El Alizal con un 95.93% en un kilómetro, y el canal con revestimiento con máxima eficiencia de funcionamiento es Marcopampa con un 99.59%, la diferencia entre la eficiencia de funcionamiento mayor y la menor entre los canales de distribución es de 3.66 % y la eficiencia de funcionamiento promedio del sistema es de 98.31%.

**Tabla 31:**

Aforos en la distribución del canal de riego en el mes de agosto del 2023

Aforos en la distribución en el mes de agosto del 2023											
N°	Canal de dist.	Fecha	Hora de medición	Canal de distribución:				Pérdidas en Dist. (l/s)	Efd (%)	Observaciones	
				Prog.	Caudal (m3/s)						
					Corrent.	T. Pit.	Flot.				Prom.
4	Chuquiamao, lateral "D"	15-ago	10:50 a.m.	0+000	0.0387	0.0401	0.0387	0.0392	-	-	revestido con presencia de juntas en mal estado
		-							0.037	99.91	
		15-ago	11:10 a.m.	0+350	0.0379	0.0416	0.0379	0.0391	-	-	
		-							0.105	-	
Eficiencia de distribución en un 1 km							0.0391	-	99.73		
5	Marcopampa, lateral "F"	16-ago	06:00 p.m.	0+000	0.0697	0.0652	0.0671	0.0674	-	-	revestido y erosionado con presencia de juntas en mal estado
		-							0.107	99.84	
		16-ago	06:35 p.m.	0+450	0.0694	0.0654	0.0669	0.0673	-	-	
		-							0.238	-	
Eficiencia de distribución en un 1 km							0.0671	-	99.65		
6	El Alizal, lateral "A"	19-ago	11:00 a.m.	0+000	0.0756	0.0735	0.0765	0.0752	-	-	Sin revestir con presencia de vegetación
		-							0.586	99.22	
		19-ago	11:40 a.m.	0+220	0.0755	0.0722	0.0760	0.0746	-	-	
		-							2.664	-	
Eficiencia de distribución en un 1 km							0.0725	-	96.46		
eficiencia promedio en la distribución en 1 Km en el mes de agosto									98.61	-	

En la tabla se muestra igual que en el mes de julio, la mínima eficiencia de funcionamiento es en el canal sin revestir en el sector El Alizal con un 96.46% en un kilómetro, y el canal con revestimiento con máxima eficiencia de funcionamiento es Marcopampa con un 99.73%, la diferencia entre la eficiencia de funcionamiento mayor y la menor entre los canales de distribución es de 3.28 % y la eficiencia de funcionamiento promedio del sistema es de 98.61%.

**Tabla 32:**

Aforos en la distribución del canal de riego en el mes de septiembre del 2023.

Aforos en la distribución en el mes de septiembre del 2023											
N°	Canal de dist.	Fecha	Hora de medición	Canal de distribución:				Pérdidas en Dist. (l/s)	Efd (%)	Observaciones	
				Prog.	Caudal (m3/s)						
					Corrent.	T. Pit.	Flot.				Prom.
7	El Alizal, lateral "A"	16-sep	10:30 a.m.	0+000	0.0649	0.0674	0.0623	0.0649	-	-	Sin revestir con presencia de vegetación
		-							0.527	99.19	
		16-sep	11:00 a.m.	0+220	0.0643	0.0671	0.0615	0.0643	-	-	
		-							2.394	-	
Eficiencia de distribución en un 1 km							0.0625	-	96.31		
8	Chuquia mo, lateral "D"	19-sep	12:00 p.m.	0+000	0.0336	0.0355	0.0361	0.0351	-	-	revestido con presencia de juntas en mal estado
		-							0.041	99.88	
		19-sep	12:40 p.m.	0+350	0.0338	0.0364	0.0350	0.0350	-	-	
		-							0.118	-	
Eficiencia de distribución en un 1 km							0.0349	-	99.66		
9	Marcopampa, lateral "F"	20-sep	01:10 p.m.	0+000	0.0557	0.0549	0.0569	0.0558	-	-	revestido y erosionado con presencia de juntas en mal estado
		-							0.164	99.71	
		20-sep	01:40 p.m.	0+450	0.0545	0.0570	0.0555	0.0557	-	-	
		-							0.364	-	
Eficiencia de distribución en un 1 km							0.0555	-	99.35		
eficiencia promedio en la distribución en 1 Km en el mes de septiembre								98.44	-		

En la tabla se muestra igual que en el mes de julio, la mínima eficiencia de funcionamiento es en el canal sin revestir en el sector El Alizal con un 96.31% en un kilómetro, y el canal con revestimiento con máxima eficiencia de funcionamiento es Marcopampa con un 99.66%, la diferencia entre la eficiencia de funcionamiento mayor y la menor entre los canales de distribución es de 3.35 % y la eficiencia de funcionamiento promedio del sistema es de 98.44%.

#### 4.2.1.5. Aforos en la aplicación del riego a los terrenos de cultivo

Los aforos se realizaron a la entrada de la parcela a la cual se efectuó el riego, se utilizó el método más apropiado teniendo en cuenta el correntómetro para el cálculo del caudal ya que

por las características del canal se tenía ciertas dificultades al momento de la medición, se tomó en cuenta también el tiempo que se demoró en aplicar el riego a la parcela.

**Tabla 33:**

Coordenadas de los terrenos de cultivo de muestra.

Terreno de cultivo de muestra Limapampa	
Altitud	2425 m.s.n.m.
Latitud	7°17'37"
Longitud	78°09'36"
Coordenadas Este	813605.9
Coordenadas Norte	9192805.9
Terreno de cultivo de muestra El Alizal	
Altitud	2416m.s.n.m.
Latitud	7°18'12"
Longitud	78°09'48"
Coordenadas Este	813230.7
Coordenadas Norte	9191732.2
Terreno de cultivo de muestra Chuquiamo (aspersión)	
Altitud	2366 m.s.n.m.
Latitud	7°19'03"
Longitud	78°09'39"
Coordenadas Este	813497.1
Coordenadas Norte	9190162.5
Terreno de cultivo de muestra Chuquiamo	
Altitud	2360 m.s.n.m.
Latitud	7°19'24"
Longitud	78°09'28"
Coordenadas Este	813830.7
Coordenadas Norte	9189514.7
Terreno de cultivo de muestra Marcopampa	
Altitud	2398m.s.n.m.
Latitud	7°19'35"
Longitud	78°08'56"
Coordenadas Este	814810.8
Coordenadas Norte	9189170.3

Las coordenadas de los terrenos de cultivo fueron tomadas con GPS navegador marca Garmin modelo GPSMAP 64sx, el cual traja con la conexión de 8 satélites.

**Tabla 34:**

Aforos en la aplicación nivel parcela en el mes de julio del 2023.

Aforos de caudales de aplicación en el mes de julio del 2023											
N°	Canal de dist.	Fecha	Hora de medición	Caudal (m <sup>3</sup> /s)				Área de riego (m <sup>2</sup> )	Tiempo de riego (min.)	Cultivo	v. de agua (m <sup>3</sup> )
				Corr.	T. Pit.	Flot.	Pro.				
1	Limapampa	14-jul	02:10:00 p.m.	0.045	0.043	0.047	0.045	618.94	16.0	pastos, alfalfa	43.12
2	El Alizal, lateral "A"	15-jul	11:10:00 a.m.	0.111	0.123	0.111	0.115	3001.82	29.0	alfalfa	200.06
3	Chuquiamo (Asp.), lat. "A2"	17-jul	07:00:00 a.m.	0.038	0.035	0.036	0.036	1625.69	17.0	alfalfa (reservorio)	36.95
4	Chuquiamo, lateral "D"	18-jul	06:35:00 p.m.	0.066	0.067	0.062	0.065	826.23	14.0	alfalfa	54.55
5	Marcopampa, lateral "F"	19-jul	02:30:00 p.m.	0.056	0.055	0.059	0.057	1306.78	23.0	alfalfa	78.49
6	Marcopampa, lateral "F"	19-jul	03:20:00 p.m.	0.056	0.055	0.059	0.057	1111.94	12.0	papa	40.95

Como se observa, los caudales de aplicación no son los mismo de la conducción, pero si, parecidos en algunos casos o iguales a los de la distribución, ya que en los caseríos de Chuquiamo y Marcopampa principalmente los riegos son compartidos es decir como mínimo dos usuarios hacen uso del agua al mismo tiempo, es por ello que en este mes tenemos caudales de aplicación de 0.036 m<sup>3</sup>/s en el caserío de Chuquiamo con el método de riego por aspersión para llenar su reservorio, y el más alto es de 0.115 m<sup>3</sup>/s en el caserío El Alizal que es riego por inundación.

**Tabla 35:**

Aforos en la aplicación nivel parcela en el mes de agosto del 2023.

Aforos de caudales de aplicación en el mes de agosto del 2023											
N°	Canal de dist.	Fecha	Hora de medición	Caudal (m <sup>3</sup> /s)				Área de riego (m <sup>2</sup> )	Tiempo de riego (min.)	Cultivo	v. de agua (m <sup>3</sup> )
				Corrent .	T. Pit.	Flot.	Prom.				
8	Chuquiamo, lateral "D"	14-ago	12:00 a.m.	0.038	0.039	0.038	0.038	826.23	22.0	alfalfa	50.38
7	Chuquiamo (Asp.), lat. "A2"	15-ago	03:00 p.m.	0.029	0.030	0.028	0.029	1625.69	21.0	alfalfa (reservorio)	36.14
9	Marcopampa, lateral "F"	16-ago	01:10 p.m.	0.042	0.043	0.042	0.042	1306.78	26.0	alfalfa	65.98
10	Marcopampa, lateral "F"	16-ago	02:15 p.m.	0.042	0.043	0.042	0.042	1111.94	16.0	papa	40.60
11	Limapampa	18-ago	03:30 p.m.	0.056	0.054	0.059	0.056	618.94	12.0	pastos, alfalfa	40.54
12	El Alizal, lateral "A"	19-ago	11:40 a.m.	0.071	0.072	0.073	0.072	3001.82	42.0	alfalfa	181.50

Si podemos observar los caudales de aplicación no son los mismo de la conducción, pero si, parecidos en algunos casos o iguales a los de la distribución, ya que en los caseríos de Chuquiamo y Marcopampa principalmente los riegos son compartidos es decir como mínimo dos usuarios hacen uso del agua al mismo tiempo, es por ello que en este mes tenemos caudales de aplicación de 0.029 m<sup>3</sup>/s en el caserío de Chuquiamo con el método de riego por aspersion para llenar su reservorio; y el más alto es de 0.072 m<sup>3</sup>/s en el caserío El Alizal que es riego por inundación.

**Tabla 36:**

Aforos realizados en la aplicación nivel parcela en el mes de septiembre del 2023.

Aforos de caudales de aplicación en el mes de septiembre del 2023											
N°	Canal de dist.	Fecha	Hora de medición	Caudal (m <sup>3</sup> /s)				Área de riego (m <sup>2</sup> )	Tiempo de riego (min.)	Cultivo	v. de agua (m <sup>3</sup> )
				Corrent .	T. Pit.	Flot.	Prom.				
13	El Alizal, lateral "A"	16-sep	11:00 a.m.	0.061	0.065	0.061	0.062	3001.82	51.0	alfalfa	190.58
15	Chuquiamo, lateral "D"	18-sep	12:30 p.m.	0.034	0.033	0.035	0.034	826.23	26.0	alfalfa	53.07
14	Chuquiamo (Asp.), lat. "A2"	19-sep	02:00 p.m.	0.025	0.023	0.024	0.024	1625.69	25.0	alfalfa (reservorio)	36.34
16	Marcopampa, lateral "F"	20-sep	01:10 p.m.	0.038	0.038	0.040	0.039	1306.78	33.0	alfalfa	76.89
17	Marcopampa, lateral "F"	20-sep	02:20 p.m.	0.038	0.038	0.040	0.039	1111.94	20.0	papa	46.60
18	Limapampa	22-sep	02:40 p.m.	0.043	0.040	0.043	0.042	618.94	14.0	pastos, alfalfa	35.13

Si podemos observar los caudales de aplicación no son los mismo de la conducción pero si, parecidos en algunos casos o iguales a los de la distribución, ya que en los caseríos de Chuquiamo y Marcopampa principalmente los riegos son compartidos es decir como mínimo dos usuarios hacen uso del agua al mismo tiempo, es por ello que en este mes tenemos caudales de aplicación de 0.024 m<sup>3</sup>/s en el caserío de Chuquiamo con el método de riego por aspersión para llenar su reservorio; y el más alto es de 0.062 m<sup>3</sup>/s en el caserío El Alizal que es riego por inundación.

#### 4.2.2. Levantamientos topográficos de los terrenos de cultivo y captación

Las fechas de los levantamientos topográficos, se realizaron de manera conjunta con el desarrollo de los objetivos del tema de tesis.

A continuación, se presenta la relación de fechas en las que se realizaron los levantamientos topográficos empezando por los terrenos de cultivo y por último la captación

por pedido de los usuarios, ya que hay varias estructuras que se encuentran afectadas por la erosión como el barraje y la posa disipadora de energía.

**Tabla 37:**

Fechas de levantamiento topográfico y equipos utilizados.

N°	Fecha	Parcela de cultivo de muestra	observaciones
1	29/08/2023	Marcopampa	Levantamiento topográfico con dron, marca y modelo "MAVIC 1 AIRS"
2	29/08/2023	Chuquiamo (Aspersión)	Levantamiento topográfico con dron, marca y modelo "MAVIC 1 AIRS"
3	29/08/2023	Chuquiamo	Levantamiento topográfico con dron, marca y modelo "MAVIC 1 AIRS"
4	30/08/2023	Limapampa	Levantamiento topográfico con dron, marca y modelo "MAVIC 1 AIRS"
5	30/08/2023	El Alizal	Levantamiento topográfico con dron, marca y modelo "MAVIC 1 AIRS"
6	18/10/2023	Captación	Levantamiento topográfico con estación total marca y modelo "TRIMBLE S7",

En los terrenos de cultivo se utilizó dron para realizar el levantamiento topográfico ya que cumplía con las condiciones, es decir que la vegetación no era excesiva y los cultivos son máximo de 0.6 m de alto lo cual facilitaba el levantamiento, en cambio en la captación era obligatorio el uso de estación total ya que se tiene árboles que dificultaban para una buena captura de las ortofotos.

#### **4.2.3. Características de la infraestructura de riego**

Se determino por medición de las estructuras e inspección visual de estas, pero la que muestra mayor deterioro es la captación la cual tiene un barraje totalmente destruido por la erosión y socavación, por lo tanto, se plantea la construcción completa de esta estructura, pero por el tiempo de vida útil es recomendable que demolición y reconstrucción de todo el sistema de riego.

**Tabla 38:**

Caracterización de la infraestructura de la captación.

Fuente Hídrica: Rio Muyoc		
Departamento: Cajamarca	Localidad: Limapampa	Comité: San Marcos II – Chuquiamo
Provincia: San Marcos	Sector Hidráulico: Cajamarquino	
Distrito: Gregorio Pita	Altitud: 2448 m.s.n.m.	Caudal de dotación (L/S): 485
Captación	características de la infraestructura	
Barraje	totalmente erosionado y con socavación de 1.6 m, se debe construir un nuevo barraje con una longitud de 27.3 m	
Ventana de Captación	en buen estado, solo para una limpieza y resanes en el tarrajeo tiene un metro de ancho por 1.05 m de alto	
enrejado	en buen estado ¿, solo mantenimiento de limpieza, tiene tres rieles distribuidos cada 0.25 m y de un alto de 0.77m	
Colchón Disipador	inexistente, presenta socavamiento de hasta 1.35 m a la caída del agua después del barraje	
Compuerta	en buen estado, para mantenimiento contra la corrosión con pintura anticorrosiva y engrase del tonillo gusano, tiene un alto de 1.53 m y un ancho de 1 m	
Canal de limpia	destruido por las fuertes avenidas, se debe construir nuevo canal, pero hay restos que fue de 2.0 m de ancho	
Antecanal	en buen estado solo mantenimiento general de limpieza, es de sección rectangular de 1.20 m de alto por 1 m de ancho	
Aliviadero de Demasías	en buen estado ¿, solo mantenimiento general y limpieza, tiene un metro de ancho por 40cm de alto	
Desarenador	en buen estado, para mantenimiento de limpieza, es de 3.10 metros de largo por 1.0 m de ancho y de altura 1.50 m	
Muros de Encauzamiento	en un estado regular, los cuales tendrán que recibir un mantenimiento correctivo sobre todo en el tarrajeo ya que hay partes que por el paso del tiempo se han visto afectadas, a lado de la compuerta aguas arriba tiene una longitud de 23,80 m y una altura de 2.30 m	

La caracterización de la infraestructura de captación se realizó de forma visual, midiendo y contabilizando las diferentes anomalías que presentaban las diferentes estructuras las cuales pueden influenciar en la eficiencia de captación del sistema, para ello se realizó la inspección de cada una de ellas empezando desde el barraje, ventana de captación, enrejado, colchón disipador, compuerta, canal de limpia, antecanal, aliviadero de demasías, desarenador y muros de encauzamiento.

**Figura 20:**

*Captación del sistema de riego.*



**Tabla 39:**

Caracterización de la infraestructura de conducción en 1 km de muestra representativa.

Canal de Riego “San Marcos II – Chuquiamo”				
progresiva	juntas en mal estado	Grieta	Rotura	Características de las estructuras en conducción
0+000				presencia de vegetación en las juntas
0+100	12	5	0	presencia de vegetación en las juntas
0+200	18	8	0	presencia de vegetación en las juntas
0+300	12	3	0	presencia de vegetación en las juntas
0+400	22	11	2	canal tapado para evitar daños por deslizamiento
0+500	13	9	0	presencia de vegetación en las juntas
0+600	22	7	3	presencia de vegetación en las juntas
0+700	17	6	1	presencia de vegetación en las juntas
0+800	31	11	4	por raíces hay roturas en los paños del canal
0+900	28	9	2	presencia de vegetación en las juntas
1+000	26	5	3	Tarrajeo en mal estado 24 m apox.
total	201	74	15	

La caracterización de la infraestructura de conducción se realizó de forma visual, midiendo y contabilizando las diferentes anomalías que presentaban este canal como juntas en

mal estado, roturas, grietas las cuales pueden influenciar en la eficiencia de conducción del sistema, para ello se realizó la división del tramo cada 100 metros para tener una mejor ubicación y contabilidad de estas fallas.

**Tabla 40:**

Caracterización de la infraestructura de distribución de muestra representativa.

Canal de Riego “San Marcos II – Chuquiamo”					
Lateral	Compuerta de derivación de conducción	Juntas en mal estado	Grieta	Rotura	Características de las estructuras y el entorno
Limapampa	En buen estado, mantenimiento con pintura anticorrosiva	-	-	-	la distribución se realiza directo a la parcela de cultivo
El Alizal, lateral "A"	En buen estado, mantenimiento con pintura anticorrosiva	-	-	-	canal sin revestir
Chuquiamo (Asp.), lat. "A2"	En buen estado, mantenimiento con pintura anticorrosiva	-	-	-	la distribución se realiza directo al reservorio de almacenamiento
Chuquiamo, lateral "D"	En buen estado, mantenimiento con pintura anticorrosiva	34	14	4	desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 0+350
Marcopampa, lateral "F"	En buen estado, mantenimiento con pintura anticorrosiva	64	20	2	desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 0+450
total		98	34	6	

La caracterización de la infraestructura de distribución se realizó de forma visual, midiendo y contabilizando las diferentes anomalías que presentaban estos canales como juntas en mal estado, roturas, grietas las cuales pueden influenciar en la eficiencia de distribución del sistema.

#### 4.2.4. Caracterización de los terrenos agrícolas y método de riego utilizados

##### 4.2.4.1. Caracterización de los terrenos agrícolas

Para la obtención de las características de los suelos agrícolas, se extrajo las muestras teniendo en cuenta las recomendaciones de INIA (instituto nacional de innovación agraria) siguiendo el procedimiento del (ítem 3.4.5.1 *Caracterización de los terrenos agrícolas*)

**Figura 21:**

*Extracción de muestra de suelo caserío Limapampa.*



**Tabla 41:**

Fechas de extracción de suelo de las parcelas de muestra.

N°	Parcela	Fecha	Hora
1	Limapampa	15-ago	03:00:00 p.m.
2	El Alizal, lateral "A"	15-ago	06:00:00 p.m.
3	Chuquiamo (Asp.), lat. "A2"	16-ago	08:50:00 a.m.
4	Chuquiamo, lateral "D"	16-ago	09:30:00 a.m.
5	Marcopampa, lateral "F"	16-ago	07:20:00 a.m.

Nota: las tomas de muestra se realizaron en horarios donde la radiación solar no afecte directamente la humedad de la muestra.

Los datos entregados por el laboratorio se presentarán como anexos de este proyecto, y se extraerá de ellos la información necesaria para realizar los diferentes cálculos, sobre todo con los parámetros hídricos los cuales eran usados en el cálculo de la Lamina, Frecuencia, y Tiempo de riego

#### 4.2.5. Caracterización de los métodos de riego utilizados

Se inicio realizando la inspección visual, analizando cual es el tipo de riego en los caseríos de Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa detallado en la siguiente tabla.

**Tabla 42:**

Método de riego utilizados en los terrenos de cultivo de muestra.

N°	Parcela	cultivo	Método de riego
1	Limapampa	pastos, alfalfa	inundación
2	El Alizal, lateral "A"	alfalfa	Inundación
3	Chuquiamo (Asp.), lat. "A2"	alfalfa	Aspersión
4	Chuquiamo, lateral "D"	alfalfa	Inundación
5	Marcopampa, lateral "F"	alfalfa, papa	Inundación, surcos

Para una mejor comprensión del riego aplicado se realizó pruebas de infiltración con el método de cilindros infiltrómetros y prueba de avance en surcos.

##### 4.2.5.1. Pruebas de infiltración

Se realizó la prueba de infiltración, los parámetros se hallaron mediante la técnica de los mínimos cuadrados en cada uno de los terrenos de cultivo, obteniendo los siguientes datos.

**Figura 22:**

*Prueba de infiltración caserío Marcopampa.*



**Tabla 43:**

Datos de campo de infiltración del caserío Marcopampa.

Caserío:		Marcopampa			observador:	Dante J. Quiros Enco		
Fecha:		23/08/2023			Textura:	Franco Arenoso		
Observaciones:		Terreno de cultivo con riego 4 días antes			Método:	Cilindros Infiltrómetros		
Hora	Tiempo de oportunidad (min)		Lectura de niveles de agua (mm)		Lamina infiltrada (mm)	Infiltración Instantánea (mm/h)	Tiempo acumulado t(min)	Lamina infiltrada acumulada (mm)
	Acumulado	Parcial	Inicial	Final				
12:02	2	2	120	99	21	630	2	21
12:04	4	2	99	89	10	300	4	31
12:06	6	2	130	121	9	270	6	40
12:08	8	2	121	111	10	300	8	50
12:10	10	2	111	102	9	270	10	59
12:12	12	2	102	94	8	240	12	67
12:15	15	3	120	106	14	280	15	81
12:18	18	3	106	94	12	240	18	93
12:21	21	3	94	81	13	260	21	106
12:26	26	5	150	137	13	156	26	119
12:31	31	5	137	126	11	132	31	130
12:36	36	5	125	114	11	132	36	141
12:46	46	10	104	84	20	120	46	161
12:56	56	10	130	110	20	120	56	181
13:11	71	15	140	113	27	108	71	208
13:31	91	20	150	125	25	75	91	233
14:01	121	30	130	95	35	70	121	268
Total								

**Tabla 44:**

Procesamiento de los datos obtenidos en el caserío Marcopampa.

Log(t)= X	Log(Icum)= Y	X <sup>2</sup> total	X*Y total	Número de datos	Log (IT)=Y'	X*Y'	B
					total	total	
22.184	38.585	32.818	48.461		33.531	46.249	0.644385501
0.301	2.799	0.091	0.843	17	1.322	0.398	Ao
0.602	2.477	0.362	1.491	b	1.491	0.898	1.131510803
0.778	2.431	0.606	1.892	-0.488342257	1.602	1.247	Y=1.1309+0.6451X
0.903	2.477	0.816	2.237	Ao	1.699	1.534	Antilog(Ao)=A
1.000	2.431	1.000	2.431	2.906961874	1.771	1.771	13.53663763
1.079	2.380	1.165	2.569	Y=2.8695-0.45106X	1.826	1.971	Antilog(bx)
1.176	2.447	1.383	2.878	Antilog(A)	1.908	2.245	t <sup>0.64514</sup>
1.255	2.380	1.576	2.988	807.1641671	1.968	2.471	INFILTRACIÓN TOTAL O ACUMULADA
1.322	2.415	1.748	3.193	Antilog(bx)	2.025	2.678	IT=13.5188 X t <sup>0.64514</sup>
1.415	2.193	2.002	3.103	t <sup>-0.45106</sup>	2.076	2.937	b
1.491	2.121	2.224	3.163	INFILTRACIÓN INSTANTÁNEA	2.114	3.153	-0.355614499
1.556	2.121	2.422	3.300	I= 807.16 x t <sup>-0.45106</sup>	2.149	3.345	a
1.663	2.079	2.765	3.457		2.207	3.669	523.3687812
1.748	2.079	3.056	3.635		2.258	3.947	INFILTRACIÓN BÁSICA -ib (mm/min)
1.851	2.033	3.427	3.764		2.318	4.291	77.720
1.959	1.875	3.838	3.673	-	2.367	4.638	ib= a(-10*b) <sup>b</sup> , para Tb en horas
2.083	1.845	4.338	3.843		2.428	5.057	ib= a(-600*b) <sup>b</sup> , para Tb en minutos
22.184	38.585	32.82	48.461	-	33.531	46.249	-

En la prueba anterior, tenemos una infiltración básica de 77.720 mm/h lo cual nos indica que está dentro de lo normal para un suelo Franco Arenoso, esto nos ayudara en el cálculo de la lámina a reponer según la cedula de cultivo.

**Tabla 45:**

Datos de campo de infiltración del caserío Chuquiamo.

Caserío:		Chuquiamo			observador:	Dante J. Quiros Enco		
Fecha:		23/08/2023			Textura:	Franco Arenoso		
Observaciones:		Terreno de cultivo con riego 2 días antes			Método:	Cilindros Infiltrómetros		
Hora	Tiempo de oportunidad (min)		Lectura de niveles de agua (mm)		Lamina infiltrada (mm)	Infiltración Instantánea (mm/h)	Tiempo acumulado t(min)	Lamina infiltrada acumulada (mm)
	Acumulado	Parcial	Inicial	Final				
14:22	2	2	150	114	36	1080	2	36
14:24	4	2	114	98	16	480	4	52
14:26	6	2	150	136	14	420	6	66
14:28	8	2	136	120	16	480	8	82
14:30	10	2	120	106	14	420	10	96
14:32	12	2	116	103	13	390	12	109
14:35	15	3	150	133	17	340	15	126
14:38	18	3	133	118	15	300	18	141
14:41	21	3	135	128	7	140	21	148
14:44	24	3	128	121	7	140	24	155
14:49	29	5	121	110	11	132	29	166
14:54	34	5	110	99	11	132	34	177
14:59	39	5	99	89	10	120	39	187
15:09	49	10	120	101	19	114	49	206
15:19	59	10	101	81	20	120	59	226
15:34	74	15	120	96	24	96	74	250
15:54	94	20	120	92	28	84	94	278
16:24	124	30	120	89	31	62	124	309
Total								

**Tabla 46:**

Procesamiento de los datos obtenidos en el caserío Chuquiamo.

Log(t)= X	Log(Icum)= Y	X <sup>2</sup> total	X*Y total	Número de datos	Log(IT)=Y' total	X*Y' total	B	
23.7791	41.6897	35.4288	52.3658			38.37539	52.78862	0.52112
0.3010	3.0334	0.0906	0.9132	18	1.5563	0.4685	Ao	
0.6021	2.6812	0.3625	1.6143	b	1.7160	1.0331	1.443534061	
0.7782	2.6232	0.6055	2.0413	-0.674616903	1.8195	1.4159	Y=1.4435+0.52112X	
0.9031	2.6812	0.8156	2.4214	Ao	1.9138	1.7283	Antilog(Ao)=A	
1.0000	2.6232	1.0000	2.6232	3.207302822	1.9823	1.9823	27.7673261	
1.0792	2.5911	1.1646	2.7962	Y=302073- 0.6746X	2.0374	2.1988	Antilog(bx)	
1.1761	2.5315	1.3832	2.9773	Antilog(A)	2.1004	2.4702	t <sup>0.52112</sup>	
1.2553	2.4771	1.5757	3.1095	1611.769086	2.1492	2.6979	INFILTRACIÓN TOTAL O ACUMULADA	
1.3222	2.1461	1.7483	2.8377	Antilog(bx)	2.1703	2.8696	IT=27.7673X t <sup>0.52112</sup>	
1.3802	2.1461	1.9050	2.9621	t <sup>-0.6746</sup>	2.1903	3.0231	b	
1.4624	2.1206	2.1386	3.1011	INFILTRACIÓN INSTANTÁNEA	2.2201	3.2467	-0.478879146	
1.5315	2.1206	2.3454	3.2476	I= 1611.7691x t <sup>-</sup> 0.6746	2.2480	3.4427	a	
1.5911	2.0792	2.5315	3.3081	-	2.2718	3.6146	868.2079613	
1.6902	2.0569	2.8568	3.4766		2.3139	3.9109	INFILTRACIÓN BÁSICA -ib(mm/min)	
1.7709	2.0792	3.1359	3.6819		2.3541	4.1688	57.724	
1.8692	1.9823	3.4940	3.7053		2.3979	4.4823	ib= a(-10*b) <sup>b</sup> , para Tb en horas	
1.9731	1.9243	3.8932	3.7968		2.4440	4.8224	ib= a(-600*b) <sup>b</sup> , para Tb en minutos	
2.0934	1.7924	4.3824	3.7522		2.4900	5.2125	-	
23.7791	41.6897	35.4288	52.3658		-	38.3754	52.7886	-

En la siguiente prueba tenemos una infiltración básica de 57.72 mm/h lo cual nos indica que está dentro de lo normal para un suelo Franco Arenoso, esto nos ayudara en el cálculo de la lámina a reponer según la cedula de cultivo.

**Tabla 47:**

Datos de campo de infiltración del caserío Chuquiamo (aspersión).

Caserío:		Chuquiamo -Aspersión			observador:	Dante J. Quiros Enco		
Fecha:		23/08/2023			Textura:	Franco Arcilloso		
Observaciones:		Terreno de cultivo con riego 3 días antes			Método:	Cilindros Infiltrómetros		
Hora	Tiempo de oportunidad (min)		Lectura de niveles de agua (mm)		Lamina infiltrada (mm)	Infiltración Instantánea (mm/h)	Tiempo acumulado t(min)	Lamina infiltrada acumulada (mm)
	Acumulado	Parcial	Inicial	Final				
17:28	2	2	100	78	22	660	2	22
17:30	4	2	120	109	11	330	4	33
17:32	6	2	109	99	10	300	6	43
17:34	8	2	99	93	6	180	8	49
17:36	10	2	93	87	6	180	10	55
17:38	12	2	120	115	5	150	12	60
17:40	14	2	115	110	5	150	14	65
17:43	17	3	110	103	7	140	17	72
17:46	20	3	103	97	6	120	20	78
17:49	23	3	120	114	6	120	23	84
17:54	28	5	114	104	10	120	28	94
17:59	33	5	104	95	9	108	33	103
18:09	43	10	120	102	18	108	43	121
18:19	53	10	102	87	15	90	53	136
18:34	68	15	130	109	21	84	68	157
18:49	83	15	109	92	17	68	83	174
19:19	113	30	130	87	43	86	113	217
Total								

**Tabla 48:**

Procesamiento de los datos obtenidos en el caserío Chuquiamo (asp.).

Log(t)= X	Log(Icum)= Y	X <sup>2</sup> total	X*Y total	Número de datos	Log(IT)=Y ´total	X*Y´ total	B
21.831	36.774	31.71 1	45.407			32.165	43.334
0.301	2.820	0.091	0.849	17	1.342	0.404	Ao
0.602	2.519	0.362	1.516	b	1.519	0.914	1.183418611
0.778	2.477	0.606	1.928	-0.494353089	1.633	1.271	Y=1.1834+0.5518X
0.903	2.255	0.816	2.037	Ao	1.690	1.526	Antilog(Ao)=A
1.000	2.255	1.000	2.255	2.79800837	1.740	1.740	15.25522479
1.079	2.176	1.165	2.348	Y=2.7980-0.49435X	1.778	1.919	Antilog(bx)
1.146	2.176	1.314	2.494	Antilog(A)	1.813	2.078	t <sup>0.5518</sup>
1.230	2.146	1.514	2.641	628.0704632	1.857	2.285	INFILTRACIÓN TOTAL O ACUMULADA
1.301	2.079	1.693	2.705	Antilog(bx)	1.892	2.462	IT=152552 X t <sup>0.5518</sup>
1.362	2.079	1.854	2.831	t <sup>-0.49435</sup>	1.924	2.620	b
1.447	2.079	2.094	3.009	INFILTRACIÓN INSTANTÁNEA	1.973	2.855	-0.448176647
1.519	2.033	2.306	3.088	I= 628.0705x t <sup>-</sup> 0.49435	2.013	3.057	a
1.633	2.033	2.668	3.322	-	2.083	3.402	505.0913573
1.724	1.954	2.973	3.370		2.134	3.679	INFILTRACIÓN BÁSICA -ib(mm/min)
1.833	1.924	3.358	3.526		2.196	4.024	41.160
1.919	1.833	3.683	3.517		2.241	4.300	ib= a(-10*b) <sup>b</sup> , para Tb en horas
2.053	1.934	4.215	3.972		2.336	4.797	ib= a(-600*b) <sup>b</sup> , para Tb en minutos
21.831	36.774	31.71	45.407		-	32.165	43.334

En la siguiente prueba tenemos una infiltración básica de 41.16 mm/h lo cual nos indica que está dentro de lo normal para un suelo Franco Arcilloso, esto nos ayudara en el cálculo de la lámina a reponer según la cedula de cultivo.

**Tabla 49:**

Datos de campo de infiltración del caserío Limapampa.

Caserío:		Limapampa			observador:	Dante J. Quiros Enco		
Fecha:		31/08/2023			Textura:	Franco Arcilloso		
Observaciones:		Terreno de cultivo con riego 4 días antes			Método:	Cilindros Infiltrómetros		
Hora	Tiempo de oportunidad (min)		Lectura de niveles de agua (mm)		Lamina infiltrada (mm)	Infiltración Instantánea (mm/h)	Tiempo acumulado t(min)	Lamina infiltrada acumulada (mm)
	Acumulado	Parcial	Inicial	Final				
15:08	2	2	150	130	20	600	2	20
15:10	4	2	130	125	5	150	4	25
15:12	6	2	125	120	5	150	6	30
15:14	8	2	120	115	5	150	8	35
15:16	10	2	150	145	5	150	10	40
15:18	12	2	145	140	5	150	12	45
15:20	14	2	140	135	5	150	14	50
15:22	16	2	135	130	5	150	16	55
15:24	18	2	130	126	4	120	18	59
15:26	20	2	126	122	4	120	20	63
15:29	23	3	150	142	8	160	23	71
15:32	26	3	142	136	6	120	26	77
15:35	29	3	135	129	6	120	29	83
15:40	34	5	129	124	5	60	34	88
15:45	39	5	124	118	6	72	39	94
15:50	44	5	118	112	6	72	44	100
16:08	54	10	112	100	12	72	54	112
16:18	64	10	100	89	11	66	64	123
16:28	74	10	103	91	12	72	74	135
16:43	89	15	111	94	17	68	89	152
16:58	104	15	94	78	16	64	104	168
17:28	134	30	100	66	34	68	134	202
17:58	164	30	100	68	32	64	164	234
Total								

**Tabla 50:**

Procesamiento de los datos obtenidos en el caserío Limapampa.

Log(t)=X	Log(Icum)=Y	X <sup>2</sup> total	X*Y total	Número de datos	Log(IT)=Y'	X*Y' total	B
32.291	46.836	50.700	63.563		42.911	63.371	0.583
0.301	2.778	0.091	0.836	23	1.301	0.392	Ao
0.602	2.176	0.362	1.310	b	1.398	0.842	1.047531769
0.778	2.176	0.606	1.693	-0.408909207	1.477	1.149	Y=1.0475+0.5827X
0.903	2.176	0.816	1.965	Ao	1.544	1.394	Antilog(Ao)=A
1.000	2.176	1.000	2.176	2.610446195	1.602	1.602	11.1565976
1.079	2.176	1.165	2.348	Y=2.6104- 0.4089X	1.653	1.784	Antilog(bx)
1.146	2.176	1.314	2.494	Antilog(A)	1.699	1.947	t <sup>0.5827</sup>
1.204	2.176	1.450	2.620	407.7990362	1.740	2.096	INFILTRACIÓN TOTAL O ACUMULADA
1.255	2.079	1.576	2.610	Antilog(bx)	1.771	2.223	IT=11.1566 X t <sup>0.5827</sup>
1.301	2.079	1.693	2.705	t <sup>-0.4089</sup>	1.799	2.341	b
1.362	2.204	1.854	3.001	INFILTRACIÓN INSTANTÁNEA	1.851	2.521	-0.417263468
1.415	2.079	2.002	2.942	I= 407.799x t <sup>-</sup> 0.4089	1.886	2.669	a
1.462	2.079	2.139	3.041		1.919	2.806	390.0814201
1.531	1.778	2.345	2.723		1.944	2.978	INFILTRACIÓN BÁSICA - ib(mm/min)
1.591	1.857	2.531	2.955		1.973	3.139	38.933
1.643	1.857	2.701	3.052		2.000	3.287	ib= a(-10*b) <sup>b</sup> , para Tb en horas
1.732	1.857	3.001	3.218		2.049	3.550	ib= a(-600*b) <sup>b</sup> , para Tb en minutos
1.806	1.820	3.262	3.286		2.090	3.775	
1.869	1.857	3.494	3.472	-	2.130	3.982	
1.949	1.833	3.800	3.572		2.182	4.253	-
2.017	1.806	4.068	3.643		2.225	4.489	
2.127	1.833	4.525	3.898		2.305	4.904	
2.215	1.806	4.906	4.000		2.369	5.247	
32.291	46.836	50.700	63.563	-	42.911	63.371	-

En la siguiente prueba tenemos una infiltración básica de 38.93 mm/h lo cual nos indica que está dentro de lo normal para un suelo Franco Arcilloso, esto nos ayudara en el cálculo de la lámina a reponer según la cedula de cultivo.

**Tabla 51:**

Datos de campo de infiltración del caserío El Alizal.

Caserío:		El Alizal			observador:	Dante J. Quiros Enco		
Fecha:		01/09/2023			Textura:	Franco Arenoso		
Observaciones:		Terreno de cultivo con riego 5 días antes			Método:	Cilindros Infiltrómetros		
Hora	Tiempo de oportunidad (min)		Lectura de niveles de agua (mm)		Lamina infiltrada (mm)	Infiltración Instantánea (mm/h)	Tiempo acumulado t(min)	Lamina infiltrada acumulada (mm)
	Acumulado	Parcial	Inicial	Final				
08:07	2	2	140	114	26	780	2	26
08:09	4	2	114	102	12	360	4	38
08:11	6	2	102	90	12	360	6	50
08:13	8	2	90	80	10	300	8	60
08:15	10	2	130	115	15	450	10	75
08:17	12	2	115	104	11	330	12	86
08:19	14	2	104	94	10	300	14	96
08:21	16	2	94	84	10	300	16	106
08:23	18	2	130	121	9	270	18	115
08:25	20	2	121	113	8	240	20	123
08:27	22	2	113	104	9	270	22	132
08:29	24	2	104	96	8	240	24	140
08:31	26	2	96	88	8	240	26	148
08:33	28	2	100	92	8	240	28	156
08:35	30	2	92	83	9	270	30	165
08:37	32	2	73	64	9	270	32	174
08:42	37	5	125	102	23	276	37	197
08:47	42	5	100	78	22	264	42	219
08:57	52	10	100	57	43	258	52	262
09:07	62	10	100	68	32	192	62	294
09:22	77	15	120	75	45	180	77	339
09:37	92	15	120	80	40	160	92	379
09:52	107	15	120	76	44	176	107	423
10:22	137	30	120	52	68	136	137	491
10:52	167	30	120	65	55	110	167	546
11:22	197	30	120	71	49	98	197	595
Total								

**Tabla 52:**

Procesamiento de los datos obtenidos en el caserío El Alizal.

Log(t)=X	Log(Icum)=Y	X <sup>2</sup> total	X*Y total		Log(IT)=Y' total	X*Y' total	B	
37.3705	62.2826	59.8774	87.3848	Número de datos	56.987268776	86.323889984	0.716204774	
0.3010	2.8921	0.0906	0.8706	26	1.4150	0.4259	Ao	
0.6021	2.5563	0.3625	1.5390	b	1.5798	0.9511	1.162397318	
0.7782	2.5563	0.6055	1.9892	-0.346478513	1.6990	1.3221	Y=1.1624+0.71621X	
0.9031	2.4771	0.8156	2.2371	Ao	1.7782	1.6058	Antilog(Ao)=A	
1.0000	2.6532	1.0000	2.6532	2.893487144	1.8751	1.8751	14.53440702	
1.0792	2.5185	1.1646	2.7179	Y=2.8935-0.3465X	1.9345	2.0877	Antilog(bx)	
1.1461	2.4771	1.3136	2.8391	Antilog(A)	1.9823	2.2719	t <sup>0.7162</sup>	
1.2041	2.4771	1.4499	2.9828	782.5050416	2.0253	2.4387	Infiltración total o acumulada	
1.2553	2.4314	1.5757	3.0520	Antilog(bx)	2.0607	2.5867	IT=14.5344 X t <sup>0.7162</sup>	
1.3010	2.3802	1.6927	3.0967	t <sup>-0.3465</sup>	2.0899	2.7190	b	
1.3424	2.4314	1.8021	3.2639	INFILTRACIÓN INSTANTÁNEA	2.1206	2.8467	-0.283795226	
1.3802	2.3802	1.9050	3.2852	I= 782.5050x t <sup>-0.3465</sup>	2.1461	2.9621	a	
1.4150	2.3802	2.0021	3.3679		2.1703	3.0709	624.5767019	
1.4472	2.3802	2.0943	3.4445		2.1931	3.1738	INFILTRACIÓN BÁSICA -ib (mm/min)	
1.4771	2.4314	2.1819	3.5914		2.2175	3.2755	145.343	
1.5051	2.4314	2.2655	3.6596		2.2405	3.3724	ib= a(-10*b) <sup>b</sup> , para Tb en horas	
1.5682	2.4409	2.4593	3.8278		-	2.2945	3.5982	ib= a(-600*b) <sup>b</sup> , para Tb en minutos
1.6232	2.4216	2.6349	3.9309		2.3404	3.7991		
1.7160	2.4116	2.9447	4.1383		2.4183	4.1498		
1.7924	2.2833	3.2127	4.0926		2.4683	4.4242		
1.8865	2.2553	3.5588	4.2546		2.5302	4.7732		
1.9638	2.2041	3.8565	4.3284		2.5786	5.0639		
2.0294	2.2455	4.1184	4.5570		2.6263	5.3299		
2.1367	2.1335	4.5656	4.5588		2.6911	5.7501		
2.2227	2.0414	4.9405	4.5374		2.7372	6.0840		
2.2945	1.9912	5.2646	4.5688		2.7745	6.3660		
37.371	62.283	59.877	87.385		-	56.987		86.324

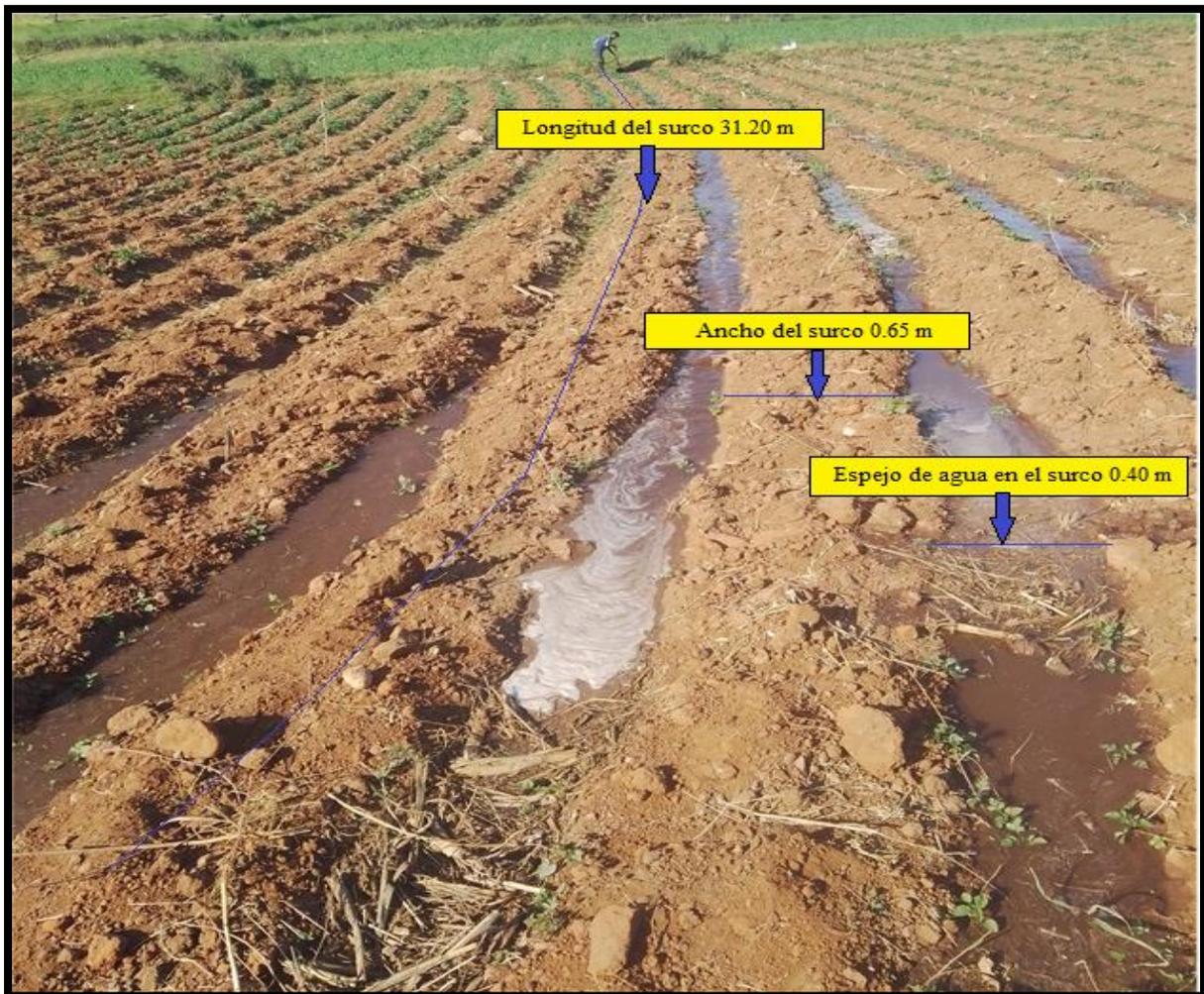
En la siguiente prueba tenemos una infiltración básica de 145.34 mm/h lo cual nos indica que está dentro de lo normal para un suelo Franco Arenoso, esto nos ayudara en el cálculo de la lámina a reponer según la cedula de cultivo.

Teóricamente, los valores obtenidos de la infiltración básica están dentro de los valores de acuerdo a la textura del suelo, por lo tanto, podemos hacer uso de esta información para hallar la eficiencia de aplicación del sistema.

#### 4.2.5.2. Pruebas de avance en surcos

**Figura 23:**

*Toma de datos de la prueba de avance en surcos de cultivo de papa.*



Esta prueba se realizó con el cultivo de papa en el caserío de Marcopampa, ya que el terreno de muestra contaba con una extensión de este cultivo sembrado, al realizar esta prueba se tuvo en cuenta la longitud del surco y el ancho de este, cronometrando el avance, de esta manera se determinó que los surcos hechos por los agricultores son óptimos en funcionamiento.

**Tabla 53:**

Datos de campo para determinar la función de avance e infiltración.

Prueba de avance caserío Marcopampa								
Fecha	:	23/08/2023			observador:	Dante Julihnio Quiros Enco		
Método	:	analítico matemático (medición en campo)			Textura:	Franco Arenoso		
Observaciones:	Terreno de cultivo con riego a los 8 días			Caudal	8.1 L/S			
velocidad m/s)	longitud de avance, X(m)	tiempo de avance, Tx (min )	Y=logX	Z=logTx	Z*Y	Y^2	Z^2	Nº DATOS (n)
total			3.795	1.154	1.602	4.925	0.606	3
0.14	10.00	1.20	1.00	0.08	0.08	1.00	0.01	-
0.12	20.00	2.70	1.30	0.43	0.56	1.69	0.19	-
0.12	31.20	4.40	1.49	0.64	0.96	2.23	0.41	-

**Tabla 54:**

Determinación de la función de avance e infiltración.

m	N	p	r2	Ancho de espejo de agua en el surco (B m)	Formula (función) de avance $X = pTx^m$	Infiltración acumulada (mm) $I_{cum} = (Q \cdot Tx) / (B \cdot Lx)$
0.874	0.929	8.492	0.999	-	$X=8.51 \cdot Tx^{0.87}$	-
-	-	-	-	0.400	9.980	24.300
-	-	-	-	0.400	20.274	27.338
-	-	-	-	0.400	30.884	28.558

Tenemos valores de infiltración dentro del rango normal de recuperación de lámina que se perdió por evapotranspiración, por lo tanto, se puede decir que el diseño de los surcos es óptimo debido a la experiencia del agricultor.

#### 4.2.6. Evaluación de la operación y mantenimiento del sistema de riego

##### 4.2.6.1. Evaluación de la operación del sistema de riego

Para esta evaluación se indagó a la junta directiva y a los dueños de las parcelas el período de turnos entre riego y riego. Existen dos juntas directivas las cuales están distribuidas de la siguiente manera, Limapampa y El Alizal cuentan con una sola junta de usuarios los

cuales realizan sus riegos cada 8 días, el operador del riego es el encargado de realizar el seguimiento desde captación realizando la limpieza de esta y los tramos que lo soliciten a cualquier hora del día es decir su trabajo es las 24 horas para un buen funcionamiento, el pago al operador es por parte de esta junta directiva dependiendo de la aportación de cada regante.

Chuquiamo y Marcopampa cuentan con el mismo sistema y con el manejo de la junta directiva “Chuquiamo Marcopampa” la cual se encarga de la repartición de los turnos de riego que por lo general también se dan cada 8 días, también cuentan con un operario el cual es pagado por la municipalidad provincial de San Marcos ya que la esta institución también hace uso del canal, el operario trabaja las 24 horas.

La operación por parte de los regantes se hace presente en cada turno de riego, y es prácticamente desde el canal de distribución hasta su parcela, para una mejor operación de parte de los usuarios de las parcelas de cultivo de muestra se capacitó personalmente para poder mejorar en su eficiencia distribución y aplicación, ya que, teóricamente, en la aplicación es donde más agua se pierde.

#### **4.2.6.2. Evaluación del mantenimiento del sistema de riego**

El mantenimiento de todo el sistema por lo general se realiza dos veces al año cada seis meses empezando en el mes de abril, se realiza la limpieza de la captación, así como su acondicionamiento, los canales de conducción son limpiados por cada usuario realizándolo como una minga, es decir cada usuario tiene su tramo de canal a limpiar.

Se realizó un recorrido del sistema para realizar una evaluación visual. Obtenido lo siguiente:

- La captación: necesita una reconstrucción completa del barraje y posa disipadora de energía, pintura anticorrosiva para la compuesta del bocal.

- En el canal de conducción: acondicionamiento de algunas compuertas de distribución y pintado de estas con pintura anticorrosiva, se necesita sellar algunas juntas de dilatación con material bituminosos, reemplazar en algunos casos paños del canal y un mantenimiento correctivo al tarrajeo.
- Canales de distribución: sellar algunas juntas de dilatación con material bituminosos, reemplazar en algunos casos paños del canal y un mantenimiento correctivo al tarrajeo, hay canales de distribución en el sector de El Alizal sin revestimiento.
- En la aplicación, los usuarios deben de tener sus entradas a sus parcelas limpias, libres de maleza o basura que pueda ocasionar el rebalse del agua a partes del terreno donde no requiere el riego.

### **4.3. Etapa de gabinete**

#### **4.3.1. Procesamiento de la información cartográfica y topográfica**

##### **4.3.1.1. levantamiento topográfico de la captación**

#### **Tabla 55:**

Características del tramo del río donde se ubica la captación.

Características topográficas del río Muyoc	
Pendiente (%)	4.41
Ancho del Río (m)	27.3

Según las características del río podemos afirmar que se trata de un río de montaña ya que la pendiente de 4.41%, cumpliendo con estas características.

##### **4. 3.1.2. Levantamiento topográfico del terreno de muestra en el caserío Limapampa**

Características del terreno de cultivo de muestra en el caserío Limapampa que utiliza el método de riego por inundación

**Tabla 56:**

Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío Limapampa.

Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío Limapampa	
Pendiente (%)	6.566
Área de cultivo de alfalfa (m <sup>2</sup> )	618.938
Perímetro de cultivo de alfalfa (m)	119.574

Según las características del terreno, analizando la pendiente de 6.57% y la inspección visual, se puede afirmar que, no existe erosión en el terreno de cultivo.

**4.3.1.3. Levantamiento topográfico del terreno de muestra en el caserío El Alizal**

Características del terreno de cultivo de muestra en el caserío El Alizal que utiliza el método de riego por inundación.

**Tabla 57:**

Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío El Alizal

Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío El Alizal	
Pendiente (%)	15.320
Área de cultivo de alfalfa (m <sup>2</sup> )	3001.82
Perímetro de cultivo de alfalfa (m)	239.16

Según las características del terreno, analizando la pendiente de 15.32 % y la inspección visual, se puede afirmar que, si puede existe erosión en el terreno de cultivo por el riego si es que no es controlado.

**4.3.1.4. Levantamiento topográfico del terreno de muestra en el caserío Chuquiamo (aspersión)**

Características del terreno de cultivo de muestra en el caserío Chuquiamo que utiliza el riego por aspersión.

**Tabla 58:**

Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío Chuquiamo (aspersión)

Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío Chuquiamo (aspersión)	
Pendiente (%)	14.5719
Área de cultivo de alfalfa (m <sup>2</sup> )	1625.688
Perímetro de cultivo de alfalfa (m)	158.902

Según las características del terreno, analizando la pendiente de 14.57 % y la inspección visual, se puede afirmar que, no existe erosión en el terreno de cultivo por el riego ya que es un riego tecnificado, pero si fuera por inundación con está pendiente y un riego no controlado puede tener arrastre del suelo.

**4.3.1.5. Levantamiento topográfico del terreno de muestra en el caserío Chuquiamo**

Características del terreno de cultivo de muestra en el caserío Chuquiamo que utiliza el método de riego por inundación.

**Tabla 59:**

Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío Chuquiamo.

Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío Chuquiamo	
Pendiente (%)	2.53
Área de cultivo de alfalfa (m <sup>2</sup> )	826.229
Perímetro de cultivo de alfalfa (m)	126.891

Según las características del terreno, analizando la pendiente de 2.53% y la inspección visual, se puede afirmar que, no existe erosión en el terreno de cultivo.

**4.3.1.6. Levantamiento topográfico del terreno de muestra en el caserío Marcopampa**

Características del terreno de cultivo de muestra en el caserío Marcopampa que utiliza el método de riego por inundación.

**Tabla 60:**

Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío Marcopampa.

Características topográficas del terreno de cultivo de muestra del caserío Marcopampa	
Pendiente (%)	6.7457
Área de cultivo de papa (m <sup>2</sup> )	1111.936
Perímetro de cultivo de papa (m)	133.119
Área de cultivo de alfalfa (m <sup>2</sup> )	1306.777
Perímetro de cultivo de alfalfa (m)	152.446

Según las características del terreno, analizando la pendiente de 6.75% y la inspección visual, se puede afirmar que, no existe erosión en el terreno de cultivo.

#### 4.3.2. Estudio hidrológico y climatológico de la zona de estudio

Estos datos hidrológicos y climatológicos fueron recopilados de la estación automatizada meteorológica “San Marcos”, ubicada en la provincia del mismo nombre la cual está ubicada a una altitud de 2293 m.s.n.m. la localidad presenta dos estaciones características una lluviosa de octubre a marzo y la otra seca de abril a setiembre como se puede observar a continuación.

**Tabla 61:**

Información hidrológica y climatológica de la estación “San Marcos”.

ESTACIÓN “SAN MARCOS”												
Departamento: Cajamarca				Provincia: San Marcos					Distrito: Pedro Gálvez			
Latitud: 7° 19' 21” Sur				Longitud: 78° 10' 21” Oeste					Altitud: 2293 m.s.n.m.			
Mes	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
Temperatura (C°) periodo 1975- 2022												
Max.	28.3	28.1	27.6	27.7	27.9	27.4	27.3	27.7	28.4	28.8	29.2	28.8
Min.	7.8	8.4	8.5	8.1	6.4	4.6	3.4	4.3	6.2	6.9	5.9	6.9
Precipitación media mensual (mm) periodo 1975- 2022												
Med.	93.1	110.1	136.2	69.5	27.3	5.8	2.8	4.9	26.1	69.1	73.8	94.8
Humedad media mensual (%) periodo 2018 - 2022												
Med.	73.2	75.0	79.7	77.2	70.8	66.9	64.0	58.1	60.2	67.7	69.4	75.4

Según la información recopilada y ordenada se tiene una temperatura máxima 28.8 C° en el mes de noviembre, y una mínima de 3.4 C° en el mes de julio. La precipitación a lo largo del año presenta variaciones como la máxima en el mes de marzo de 136.2 mm y a mínima de 2.8 mm en el mes de julio. La humedad también es un factor muy importante en los cultivos, ya que es más alta en época de precipitaciones como en el mes de marzo 79.7 %, y la humedad en menor porcentaje es en el mes de agosto 58.1 %.

### 4.3.3. Eficiencia del sistema de riego

Para ello se promedió todas las eficiencias de funcionamiento encontradas en campo, de captación, conducción, distribución, y aplicación a nivel parcela; para tener un valor de cada una de ellas y por último se realizó el cálculo para hallar la eficiencia de funcionamiento del sistema que es el producto de todas estas.

#### 4.3.3.1. Determinación de la eficiencia de captación del sistema de riego

Para tener una noción de cuanto caudal captar se tiene que tener en cuenta la oferta hídrica que se tiene en el río Muyoc, cuando la captación trabaja el 100% de eficiencia de funcionamiento es captar 485 l/s pero el caudal mínimo aforado en el río fue el 25 de agosto del 2023, con 488.3 l/s, con esto se puede considerar que, no hay un suficiente caudal para épocas de estiaje. Se promedió la eficiencia de funcionamiento de captación medida en campo en los meses de julio, agosto, y septiembre.

**Tabla 62:**

Eficiencia de captación del sistema de riego.

Eficiencia de captación promedio	
Mes	Eficiencia promedio mensual de captación (%)
Julio	79.06
Agosto	83.30
Septiembre	79.33
Eficiencia promedio de captación del sistema	80.56

La eficiencia de funcionamiento más baja de captación es en el mes de septiembre con 79.06 %, y la eficiencia de funcionamiento de captación promedio del sistema es de 80.56 % lo cual nos indica que hay una mala toma de agua por parte del bocal lateral de la captación, esto puede deberse a la inexistencia del barraje, pero según las mediciones de caudales en el río, no es suficiente para ser captado en los meses de estiaje por razones como el caudal ecológico y de uso múltiple.

#### 4.3.3.2. Determinación de la eficiencia de conducción del sistema de riego

En la conducción se realizó los aforos en los meses de julio, agosto y septiembre de los cuales se tiene un promedio, que sirvió para encontrar la eficiencia de funcionamiento de la conducción promedio del sistema.

**Tabla 63:**

Eficiencia de conducción del sistema de riego.

Eficiencia de funcionamiento de la conducción promedio	
Mes	Eficiencia promedio mensual de conducción (%)
Julio	98.698
Agosto	98.745
Septiembre	98.766
Eficiencia promedio de conducción del sistema en (1.0 km)	98.736
Eficiencia promedio en toda la conducción (7.7866 km)	90.158

La eficiencia de funcionamiento más baja de conducción en 1 kilómetro es en el mes de julio con 98.698 %, la más alta es en el mes de septiembre con 98.766 % y la eficiencia de funcionamiento de la conducción promedio de todo el tramo de conducción del sistema es de 90.158 %, lo cual nos indica que hay una conducción en condiciones media, considerando el tiempo de construcción del canal de conducción ya que en canales nuevos se espera una conducción superior según (Chiclote, O. 2017).

#### 4.3.3.3. Determinación de la eficiencia de distribución del sistema de riego

En la distribución, se realizó los aforos en los meses de julio, agosto y septiembre de los cuales se tiene un promedio, que sirvió para encontrar la eficiencia de funcionamiento de la distribución promedio del sistema de riego.

**Tabla 64:**

Eficiencia de distribución del sistema de riego.

Eficiencia de funcionamiento de la distribución	
Mes	Eficiencia promedio mensual de distribución (%)
Julio	98.31
Agosto	98.61
Septiembre	98.44
Eficiencia promedio de distribución en (1.0 km)	98.45
Eficiencia promedio en toda la distribución (10.956 km)	83.05

La eficiencia de funcionamiento más baja de distribución es en el mes de julio con 98.31 %, la eficiencia de funcionamiento mayor es en el mes de agosto con 98.61% y la eficiencia de funcionamiento de la distribución promedio de todo el sistema en 10.956 Km es de 83.05 % lo cual nos indica que hay una distribución en condiciones malas considerando el tiempo de construcción según. (Chiclote, O. 2017)

#### 4.3.3.4 Determinación de la eficiencia de aplicación a nivel parcela y la demanda de agua para uso agrícola del sistema de riego

Para determinar la eficiencia de aplicación, se buscó toda la información meteorológica requerida para hallar la evapotranspiración de los cultivos de la zona de estudio, luego se pudo hallar el requerimiento neto y bruto de agua para los cultivos, así como su eficiencia de aplicación de cada parcela evaluada.

**Tabla 65:**

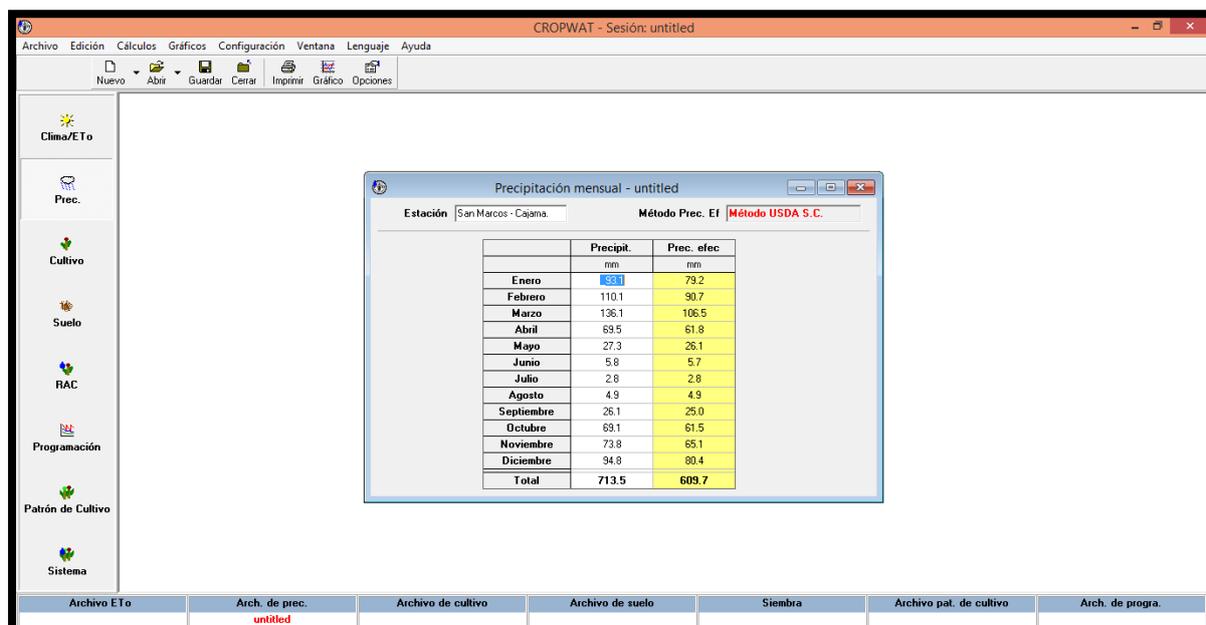
Datos meteorológicos de la estación San Marcos.

Estación San Marcos (7° 19' 21" Sur, 78° 10' 21" Oeste, 2293 m.s.n.m.)												
Mes	en.	fe.	ma.	ab.	ma.	ju.	ju.	ag.	se.	oc.	no.	di.
Precipitación (mm)	93.08	110.11	136.16	69.54	27.31	5.77	2.83	4.89	26.11	69.10	73.85	94.80
Pef. (mm)	79.20	90.60	106.50	61.80	26.10	5.70	2.80	4.90	25.00	61.50	65.10	80.40
Temp. Máx. (°C)	28.28	28.09	27.64	27.68	27.85	27.45	27.34	27.74	28.37	28.85	29.16	28.80
Temp. Mín. (°C)	7.83	8.43	8.45	8.13	6.42	4.65	3.41	4.31	6.22	6.89	5.88	6.88
Temp. Media (°C)	18.06	18.26	18.04	17.91	17.14	16.05	15.38	16.02	17.30	17.87	17.52	17.84
H.R. Media (%)	73.17	75.03	79.71	77.25	70.79	66.91	63.97	58.10	60.23	67.74	69.38	75.41
Horas sol (n/N) (%)	37	36	33	38	48	50	56	50	40	41	49	43
Altitud (m.s.n.m.)	2293											
Latitud °	7.3225											

El cálculo de la precipitación efectiva se realizó mediante la utilización del software desarrollado por la FAO CROPWAT 8.0, con el método del servicio de conservación de suelos; los otros datos meteorológicos y climatológicos fueron extraídos del ANA y SENAMHI.

**Figura 24:**

*Cálculo de la precipitación efectiva con el software CROPWAT 8*



La precipitación efectiva con el método (USDA, SCS) se efectúa de acuerdo a la precipitación mensual.

**Tabla 66:**

Área bajo riego de cada sector del canal San Marcos II - Chuquiamo

Área bajo riego de cada sector As (ha)		
Sector	Área	Laterales
Limapampa	7.90	L1
El Alizal	21.77	A, B, C
Chuquiamo	76.04	A-1, A-2, B, C, D
Marcopampa	115.91	E, F, H-1, H2
total	221.62	13 laterales

Según la tabla, el sector con menor área de riego es el centro poblado de Limapampa con 7.90 ha, el de mayor área de riego es el caserío de Marcopampa con 115.91 ha.

**Tabla 67:**

Cálculo de la demanda del agua del proyecto por parcelas en el mes de julio

Demanda del Proyecto (Dp) o Requerimiento Bruto en cada parcela en el mes de julio del 2023									
N°	Canal de dist.	Caudal (m3/s) promedio	Área de riego (m2)	Tiempo de riego (min.)	volumen de agua (m3)	área en 1 ha en m2	N° de riegos en el mes	requerimiento bruto (m3/ha)	Cultivo
1	Limapampa	0.045	618.94	16.0	43.12	10000.0	4.0	2786.50	pastos, alfalfa
2	El Alizal, lateral "A"	0.115	3001.82	29.0	200.06	10000.0	5.0	3332.29	alfalfa
3	Chuquiamo(Asp.), lat. "A2"	0.036	1625.69	17.0	36.95	10000.0	5.0	1136.31	alfalfa (reservorio)
4	Chuquiamo, lateral "D"	0.065	826.23	14.0	54.55	10000.0	4.0	2640.92	alfalfa
5	Marcopampa, lateral "F"	0.057	1306.78	23.0	78.49	10000.0	4.0	2402.67	alfalfa
6	Marcopampa, lateral "F"	0.057	1111.94	12.0	40.95	10000.0	4.0	1473.23	papa

Según la tabla, en el mes de julio el sector de menor demanda de agua por hectárea es Chuquiamo utilizando el riego por aspersión con 1136.31 (m3/ha), y la mayor demanda por hectárea es el sector El Alizal con 3332.29 (m3/ha).

**Tabla 68:**

Cálculo de la demanda del agua del proyecto por parcelas en el mes de agosto

Demanda del Proyecto (Dp) o Requerimiento Bruto en cada parcela en el mes de agosto del 2023									
N°	Canal de dist.	Caudal (m3/s) promedio	Área de riego (m2)	Tiempo de riego (min.)	volumen de agua (m3)	área en 1 ha en m2	N° de riegos en el mes	requerimiento bruto (m3/ha)	Cultivo
8	Chuquiamo, lateral "D"	0.038	826.23	22.0	50.38	10000.0	4.0	2438.82	alfalfa
7	Chuquiamo(Asp.), lat. "A2"	0.029	1625.69	21.0	36.14	10000.0	5.0	1111.40	alfalfa (reservorio)
9	Marcopampa, lateral "F"	0.042	1306.78	26.0	65.98	10000.0	5.0	2524.64	alfalfa
10	Marcopampa, lateral "F"	0.042	1111.94	16.0	40.60	10000.0	5.0	1825.86	papa
11	Limapampa	0.056	618.94	12.0	40.54	10000.0	4.0	2620.10	pastos, alfalfa
12	El Alizal, lateral "A"	0.072	3001.82	42.0	181.50	10000.0	4.0	2418.52	alfalfa

Según la tabla, en el mes de agosto, el sector de menor demanda de agua por hectárea es Chuquiamo utilizando el riego por aspersión con 1111.40 (m3/ha), y la mayor demanda por hectárea es del sector de Limapampa con 2620.10 (m3/ha).

**Tabla 69:**

Cálculo de la demanda del agua del proyecto por parcelas en el mes de septiembre

Demanda del Proyecto (Dp) o Requerimiento Bruto en cada parcela en el mes de septiembre del 2023									
N°	Canal de dist.	Caudal (m3/s) promedio	Área de riego (m2)	Tiempo de riego (min.)	volumen de agua (m3)	área en 1 ha en m2	N° de riegos en el mes	requerimiento bruto (m3/ha)	Cultivo
13	El Alizal, lateral "A"	0.062	3001.82	51.0	190.58	10000.0	5.0	3174.35	alfalfa
15	Chuquiamo, lateral "D"	0.034	826.23	26.0	53.07	10000.0	4.0	2569.22	alfalfa
14	Chuquiamo(Asp.), lat. "A2"	0.024	1625.69	25.0	36.34	10000.0	4.0	894.13	alfalfa (reservorio)
16	Marcopampa, lateral "F"	0.039	1306.78	33.0	76.89	10000.0	4.0	2353.56	alfalfa
17	Marcopampa, lateral "F"	0.039	1111.94	20.0	46.60	10000.0	4.0	1676.34	papa
18	Limapampa	0.042	618.94	14.0	35.13	10000.0	5.0	2838.15	pastos, alfalfa

Según la tabla en el mes de septiembre el sector de menor demanda de agua por hectárea es Chuquiamo utilizando el riego por aspersión con 894.13 (m3/ha), y la mayor demanda por hectárea es del sector de El Alizal con 3174.35 (m3/ha).

**Tabla 70:**

Cálculo de la evapotranspiración en la zona de estudio

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y REAL ecuación de Hargreaves & Samani (1985)												
ETP = $[0.34 Ra (0.40+0.024 t)]^* [1.35\sqrt{(1-Hr)}]^* [1+0.04*EL/1000]$												
MES	en.	fe.	ma.	ab.	ma.	ju.	ju.	ag.	se.	oc.	no.	di.
Nº de días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
T (°C)	18.1	18.3	18.0	17.9	17.1	16.0	15.4	16.0	17.3	17.9	17.5	17.8
Altitud	2293	2293	2293	2293	2293	2293	2293	2293	2293	2293	2293	2293
Hr	0.732	0.750	0.797	0.772	0.708	0.669	0.640	0.581	0.602	0.677	0.694	0.754
Ra (mm/día) 6°	15.8	16	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14	15	15.7	15.8	15.7
7.323	0.20	0.07	-0.07	-0.20	-0.20	-0.26	-0.26	-0.20	-0.07	0.07	0.13	0.20
Ra (mm/día) 8°	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16	16
Ra (mm/día) 7.323°	16.00	16.07	15.53	14.50	13.20	12.54	12.84	13.80	14.93	15.77	15.93	15.90
ETP (mm/día)	3.46	3.37	2.92	2.88	2.90	2.84	2.97	3.51	3.85	3.72	3.62	3.27
ETP (mm/mes)	107.3	94.4	90.5	86.3	89.9	85.1	92.0	108.9	115.4	115.3	108.7	101.4

Según la tabla, el mes en donde se da la mayor evapotranspiración es septiembre con 115.4 (mm/mes), y la menor evapotranspiración es el mes de junio con 85.1 (mm/mes).

**Tabla 71:**

Términos y fórmulas para el cálculo de la eficiencia de aplicación y demanda mensual

Descripción de los términos y formulas utilizadas		
Área de la parcela de cultivo (ha)	Área (ha)	A (ha)
Área cultivable del sector (ha)	Área del sector (ha)	As(ha)
coeficiente de cultivo medio (Alfalfa)	Kc medio (Alfalfa)	Kc
Evapotranspiración potencial (mm/mes) S.M.	ETP	ETP (mm/mes)
Evapotranspiración real (mm/mes) S.M.	ETR=ETP*Kc	ETR (mm/mes)
Precipitación efect. (mm/mes)	Pe= CROPWAT	Pe (mm/mes)
Demanda del cultivo mensual (mm/mes)	Da= ETR - PPe	Da(mm/mes)
Demanda del cultivo mensual (m3/ha.)	Da=Dao*10	Da(m3/ha)
Demanda del cultivo en la parcela (lit/seg)	Da=((Da*A)/(N°días mes * 86400))*1000	Da (lit./seg)
Demanda del proyecto mensual (m3/ha)	Dp=(Da/Efc) *100	Dp (m3/ha)
Demanda del proyecto en el sector (m3)	Dps=(Dp/Efc) *100*(As)(m3)	Dps(m3)
Demanda del proyecto en el sector (lit/seg)	Dps=((Dp*As)/(N°días mes* 86400))*1000	Dps(lit/seg)
Eficiencia de Aplicación mensual	Efa=(Da/Dp)*100	Efa. (%)
Días por mes	días mes	días
Eficiencia promedio de aplicación (%)	(Efa. Jul + Efa. Ag. +Efa. Sep.)/3	Efap (%)

Para el desarrollo de los diferentes cálculos, fue necesario tener presente cada uno de los términos utilizados, ya que se quiere llegar a determinar la demanda de agua del proyecto.

**Tabla 72:**

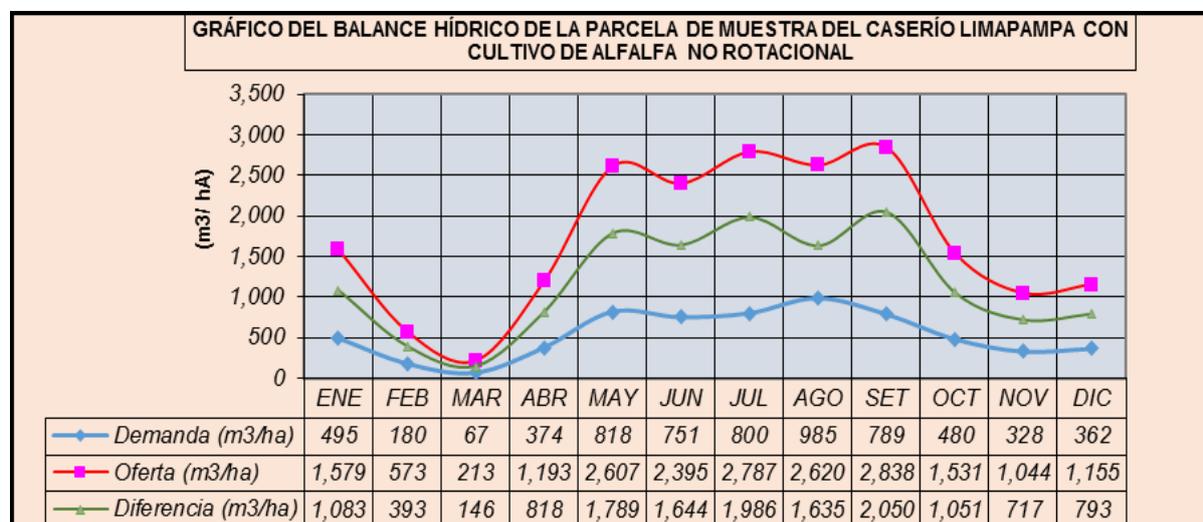
Cédula de cultivo de la parcela de muestra del caserío Limapampa

Ubicación de la parcela en estudio: Caserío Limapampa (7.9 ha); cultivo de alfalfa no rotacional												
CÉDULA DE CULTIVO												
MES	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
A (ha)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
As(ha)	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
Kc	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0	0.9	1.2
ETP (mm/mes)	107.3	94.4	90.5	86.3	89.9	85.1	92.0	108.9	115.4	115.3	108.7	101.4
ETR (mm/mes)	128.7	108.6	113.2	99.2	107.9	80.8	82.8	103.4	103.9	109.5	97.9	116.6
Pe (mm/mes)	79.2	90.6	106.5	61.8	26.1	5.7	2.8	4.9	25.0	61.5	65.1	80.4
Da (mm/mes)	49.5	18.0	6.7	37.4	81.8	75.1	80.0	98.5	78.9	48.0	32.8	36.2
Da (m3/ha)	495.3	179.8	66.8	374.2	818.0	751.5	800.3	985.4	788.6	480.3	327.7	362.3
Da (lit./seg)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dp (m3/ha)	1578.8	573.3	212.9	1192.7	2607.4	2395.3	2786.5	2620.1	2838.2	1530.9	1044.5	1154.8
Dps (m3)	12473	4529	1682	9422	20598	18922	22013	20699	22421	12094	8251	9123
Dps (lit/seg)	4.7	1.9	0.6	3.6	7.7	7.3	8.2	7.7	8.7	4.5	3.2	3.4
Efa. (%)	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	28.7	37.6	27.8	31.4	31.4	31.4
Días	31.0	28.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0
Efap (%)	31.37											

La tabla nos muestra el procesamiento de datos para hallar la demanda del cultivo, demanda del proyecto que es el volumen de agua aplicado con el riego (oferta) y la eficiencia de aplicación a nivel parcela con un valor de 31.37 % en el sector de Limapamapa.

**Figura 25:**

Gráfico del balance hídrico de la parcela de muestra del caserío Limapampa.



El gráfico nos muestra la oferta y la demanda y la diferencia de estas dos, la oferta está dada por los aforos realizados a la entrada de cada parcela de muestra y la demanda por el cálculo del requerimiento de agua del cultivo plasmados en la cédula de cultivo; según la información generada se tiene que la oferta en la parcela es mayor que la demanda por ende se puede decir que la aplicando de riego por inundación no es la correcta porque hay un volumen aplicado mucho mayor al requerido, dando como resultado una baja eficiencia de aplicación a nivel parcela.

**Tabla 73:**

Cálculo de la lámina de riego, frecuencia de riego y tiempo de riego en la parcela de muestra del centro poblado Limapampa.

Datos de laboratorio y de campo (Limapampa)		
CC: capacidad de campo	23.82	%
CM: punto de marchitez	13.35	%
DA: densidad aparente	1.33	....
Pr: profundidad radicular	600	mm
Pref: profundidad radicular efect.	450	mm
Dp: demanda o requerimiento del cultivo	3.18	mm/día
U: coeficiente de agotamiento	49%	%
Ib: Infiltración básica	38.93	(mm/min)
Clase Textural (Franco Arcilloso)		
Análisis textural	Porcentaje (%) de muestra	Coef. de agotamiento (U)
Arcilla	26%	60%
Limo	34%	50%
Arena	40%	40%
Lamina, Frecuencia, y Tiempo de riego CP Limapampa-San Marcos		
Lamina de riego (mm)	$Lr = (CC - CM) * DA * Pref * U / 100$ mm	30.5
Frecuencia de riego (días)	$Fr = ((CC - CM) * DA * Pref * U) / (100 * Dp)$ días	10
Tiempo de riego (min.)	$Tr = Lr / Ib$ (min)	0.8
Tiempo de riego (seg.)	$Tr = Lr / Ib * 60$ (seg.)	47

Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de INIA con muestras de suelo inalteradas y también en la misma parcela de muestra del sector de Limapampa.

**Tabla 74:**

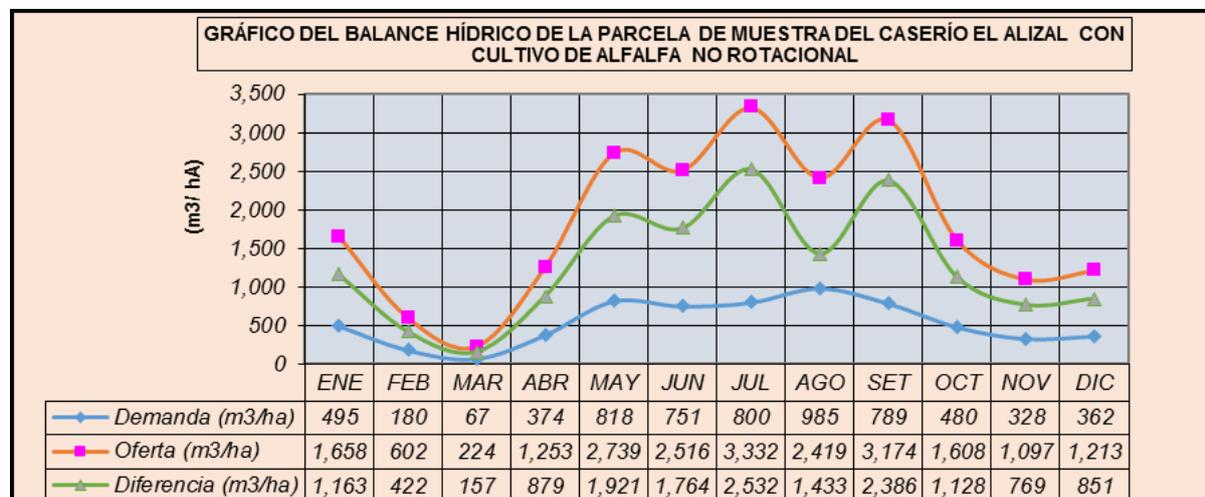
Cédula de cultivo de la parcela de muestra del caserío El Alizal

Ubicación de la parcela en estudio: Caserío El Alizal (21.77 ha); cultivo de alfalfa no rotacional												
CÉDULA DE CULTIVO												
MES	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
A (ha)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
As(ha)	21.77	21.77	21.77	21.77	21.77	21.77	21.77	21.77	21.77	21.77	21.77	21.77
Kc	1.20	1.15	1.25	1.15	1.20	0.95	0.90	0.95	0.90	0.95	0.90	1.15
ETP (mm/mes)	107.28	94.42	90.54	86.28	89.92	85.10	92.04	108.88	115.40	115.29	108.74	101.42
ETR (mm/mes)	128.73	108.58	113.18	99.22	107.90	80.85	82.83	103.44	103.86	109.53	97.87	116.63
Pe (mm/mes)	79.20	90.60	106.50	61.80	26.10	5.70	2.80	4.90	25.00	61.50	65.10	80.40
Da (mm/mes)	49.53	17.98	6.68	37.42	81.80	75.15	80.03	98.54	78.86	48.03	32.77	36.23
Da (m3/ha)	495.3	179.8	66.8	374.2	818.0	751.5	800.3	985.4	788.6	480.3	327.7	362.3
Da (lit./seg)	0.06	0.02	0.01	0.04	0.09	0.09	0.09	0.11	0.09	0.05	0.04	0.04
Dp (m3/ha)	1658.3	602.1	223.6	1252.7	2738.7	2515.9	3332.3	2418.5	3174.4	1608.0	1097.1	1213.0
Dps (m3)	36102	13108	4868	27272	59621	54771	72544	52651	69106	35007	23884	26406
Dps (lit/seg)	13.48	5.42	1.82	10.52	22.26	21.13	27.08	19.66	26.66	13.07	9.21	9.86
Efa. (%)	29.87	29.87	29.87	29.87	29.87	29.87	24.02	40.74	24.84	29.87	29.87	29.87
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Efap (%)	29.87											

La tabla nos muestra el procesamiento de datos para hallar la demanda del cultivo, demanda del proyecto que es el volumen de agua aplicado con el riego (oferta) y la eficiencia de aplicación a nivel parcela con un valor de 29.87 % en el sector El Alizal.

**Figura 26:**

Gráfico del balance hídrico de la parcela de muestra del caserío El Alizal



El grafico nos muestra la oferta y la demanda y la diferencia de estas dos, la oferta está dada por los aforos realizados a la entrada de cada parcela de muestra y la demanda por el cálculo del requerimiento de agua del cultivo plasmados en la cédula de cultivo; según la información generada se tiene que la oferta en la parcela es mayor que la demanda por ende se puede decir que la aplicando de riego por inundación no es la correcta porque hay un volumen aplicado mucho mayor al requerido, dando como resultado una baja eficiencia de aplicación a nivel parcela.

**Tabla 75:**

Cálculo de la lámina de riego, frecuencia de riego y tiempo de riego en la parcela de muestra del caserío El Alizal.

Datos de laboratorio y de campo (Caserío El Alizal)		
CC: capacidad de campo	13.57	%
CM: punto de marchitez	6.9	%
DA: densidad aparente	1.48	....
Pr: profundidad radicular	600	mm
Pref: profundidad radicular efect.	450	mm
Dp: demanda o requerimiento del cultivo	3.18	mm/dia
U: coeficiente de agotamiento	45%	%
Ib: Infiltración básica	145.34	(mm/min)
Clase Textural (Franco Arenoso)		
Análisis textural	Porcentaje (%) de muestra	Coef. de agotamiento (U)
Arcilla	18%	60%
Limo	14%	50%
Arena	68%	40%
Lamina, Frecuencia, y Tiempo de riego Caserío El Alizal-San Marcos		
Lamina de riego (mm)	$Lr = (CC - CM) * DA * Pref * U / 100$ mm	20.0
Frecuencia de riego (días)	$Fr = ((CC - CM) * DA * Pref * U) / (100 * Dp)$ días	6
Tiempo de riego (min.)	$Tr = Lr / Ib$ (min)	0.1
Tiempo de riego (seg.)	$Tr = Lr / Ib * 60$ (seg.)	8

Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de INIA con muestras de suelo inalteradas y también en la misma parcela de muestra del sector El Alizal.

**Tabla 76:**

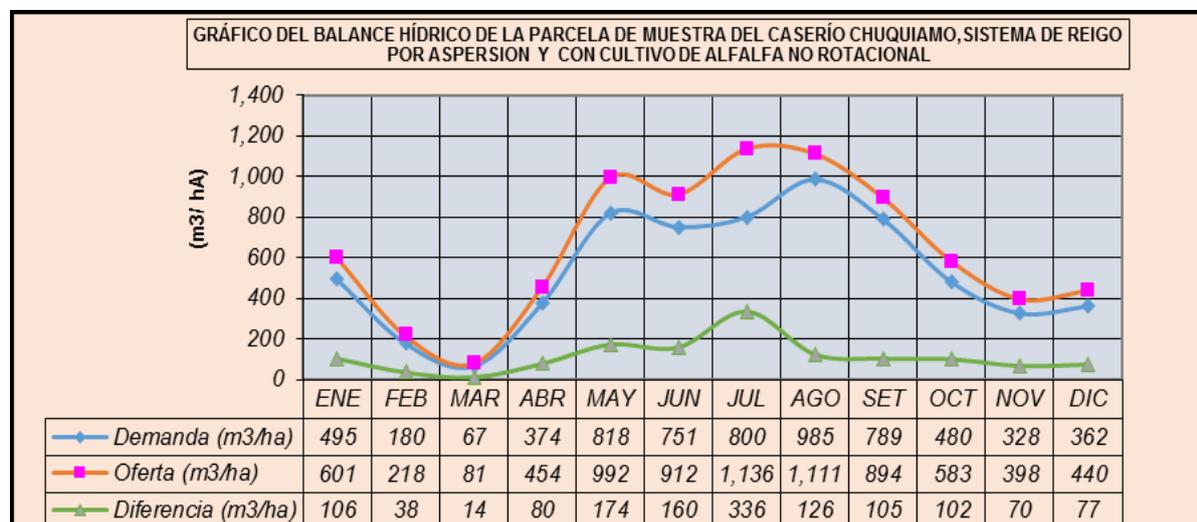
Cédula de cultivo de la parcela del caserío Chuquiamo con el sistema de riego por aspersión.

Ubicación de la parcela: caserío Chuquiamo con sistema de riego por aspersión (4.0 ha); cultivo de alfalfa no rotacional												
CÉDULA DE CULTIVO												
MES	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
A (ha)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
As(ha)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Kc	1.20	1.15	1.25	1.15	1.20	0.95	0.90	0.95	0.90	0.95	0.90	1.15
ETP (mm/mes)	107.28	94.42	90.54	86.28	89.92	85.10	92.04	108.88	115.40	115.29	108.74	101.42
ETR (mm/mes)	128.73	108.58	113.18	99.22	107.90	80.85	82.83	103.44	103.86	109.53	97.87	116.63
Pe (mm/mes)	79.20	90.60	106.50	61.80	26.10	5.70	2.80	4.90	25.00	61.50	65.10	80.40
Da (mm/mes)	49.53	17.98	6.68	37.42	81.80	75.15	80.03	98.54	78.86	48.03	32.77	36.23
Da (m3/ha)	495.3	179.8	66.8	374.2	818.0	751.5	800.3	985.4	788.6	480.3	327.7	362.3
Da (lit./seg)	0.03	0.01	0.00	0.02	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.03	0.02	0.02
Dp (m3/ha)	600.9	218.2	81.0	453.9	992.3	911.6	1136.3	1111.4	894.1	582.7	397.5	439.5
Dps (m3)	2404	873	324	1816	3969	3646	4545	4446	3577	2331	1590	1758
Dps (lit/seg)	0.90	0.36	0.12	0.70	1.48	1.41	1.70	1.66	1.38	0.87	0.61	0.66
Efa. (%)	82.43	82.43	82.43	82.43	82.43	82.43	70.43	88.66	88.20	82.43	82.43	82.43
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Efap (%)	82.43											

La tabla nos muestra el procesamiento de datos para hallar la demanda del cultivo, demanda del proyecto que es el volumen de agua aplicado con el riego (oferta) y la eficiencia de aplicación a nivel parcela con un valor de 82.43 % en el sector de Chuquiamo con sistema por aspersión.

**Figura 27:**

Gráfico del balance hídrico de la parcela del caserío Chuquiamo con riego por aspersión



El gráfico nos muestra la oferta y la demanda y la diferencia de estas dos, la oferta está dada por los aforos realizados a la entrada de cada parcela de muestra y la demanda por el cálculo del requerimiento de agua del cultivo plasmados en la cédula de cultivo; según la información generada se tiene que la oferta en la parcela es mayor que la demanda pero se puede decir que la aplicando de riego por aspersión da menores pérdidas y mejor eficiencia que otras aplicaciones de riego anteriormente vistas.

**Tabla 77:**

Cálculo de la lámina de riego, frecuencia de riego y tiempo de riego en la parcela de muestra del caserío Chuquiamo con sistema de riego por aspersión.

Datos de laboratorio y de campo (Chuquiamo Aspersión)		
CC: capacidad de campo	26.5	%
CM: punto de marchitez	15.03	%
DA: densidad aparente	1.28	....
Pr: profundidad radicular	600	mm
Pref: profundidad radicular efect.	450	mm
Dp: demanda o requerimiento del cultivo	3.18	mm/día
U: coeficiente de agotamiento	50%	%
Ib: Infiltración básica	41.16	(mm/min)
Ia: intensidad del aspersor	6.80	(mm/hr)
Efc.: eficiencia de aplicación (asp)	82.43	%
ar: almacenamiento del reservorio	36.00	m <sup>3</sup>
N° asp: número de aspersores	5.00	unid
Clase Textural (Franco Arcilloso)		
Análisis textural	Porcentaje (%) de muestra	Coef. de agotamiento (U)
Arcilla	32%	60%
Limo	38%	50%
Arena	30%	40%
Lamina, Frecuencia, y Tiempo de riego caserío Chuquiamo (Aspersión)		
Lamina de riego (mm)	$Lr = (CC - CM) * DA * Pref * U / 100$ mm	33.2
Frecuencia de riego (días)	$Fr = ((CC - CM) * DA * Pref * U) / (100 * Dp)$ días	10
Volumen de agua por aspersor (m <sup>3</sup> )	$ar / N^{\circ} asp.$ (m <sup>3</sup> )	7.20
Tiempo de riego por aspersión (hr.)	$Tr = Lr / (Ia * efc)$ hr	5.9
Tiempo de riego por aspersión (min.)	$Tr = Lr / Ib * 60$ (min.)	355
Agua irrigada por hora/aspersor (m <sup>3</sup> )	$Vol. por asp / Tr$ (m <sup>3</sup> /hr)	1.217

Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de INIA con muestras de suelo inalteradas, de la misma parcela de muestra del sector Chuquiamo, con sistema de riego por aspersión.

**Tabla 78:**

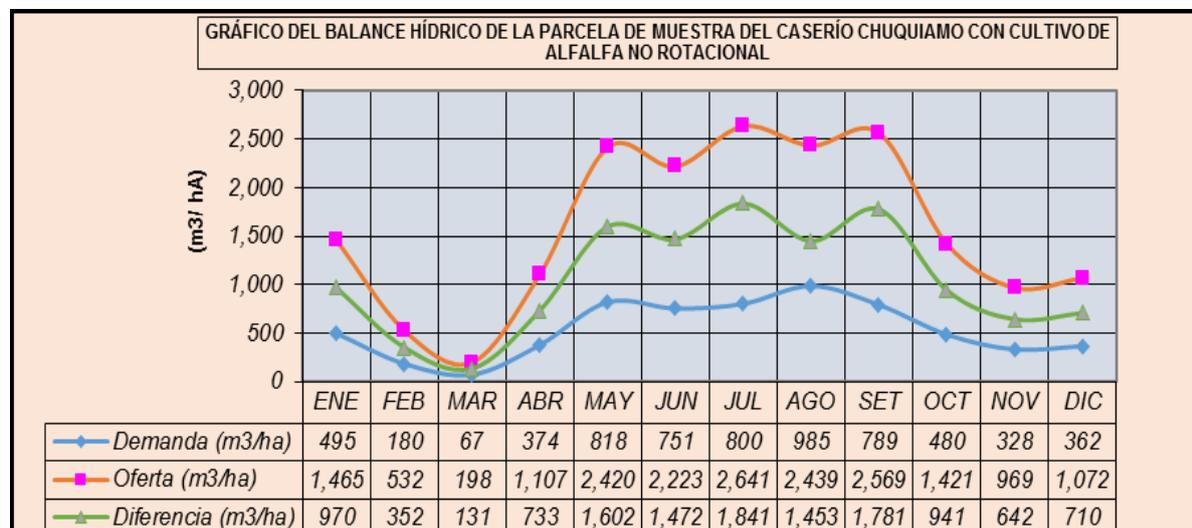
Cédula de cultivo de la parcela de muestra del caserío Chuquiamo

Ubicación de la parcela en estudio: Caserío Chuquiamo (72.04 ha); cultivo de alfalfa no rotacional												
CÉDULA DE CULTIVO												
MES	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
A (ha)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
As(ha)	72.04	72.04	72.04	72.04	72.04	72.04	72.04	72.04	72.04	72.04	72.04	72.04
Kc	1.20	1.15	1.25	1.15	1.20	0.95	0.90	0.95	0.90	0.95	0.90	1.15
ETP (mm/mes)	107.28	94.42	90.54	86.28	89.92	85.10	92.04	108.88	115.40	115.29	108.74	101.42
ETR (mm/mes)	128.73	108.58	113.18	99.22	107.90	80.85	82.83	103.44	103.86	109.53	97.87	116.63
Pe (mm/mes)	79.20	90.60	106.50	61.80	26.10	5.70	2.80	4.90	25.00	61.50	65.10	80.40
Da (mm/mes)	49.53	17.98	6.68	37.42	81.80	75.15	80.03	98.54	78.86	48.03	32.77	36.23
Da (m3/ha)	495.3	179.8	66.8	374.2	818.0	751.5	800.3	985.4	788.6	480.3	327.7	362.3
Da (lit./seg)	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01
Dp (m3/ha)	1465.4	532.1	197.6	1107.0	2420.0	2223.1	2640.9	2438.8	2569.2	1420.9	969.4	1071.8
Dps (m3)	105564	38330	14235	79745	174336	160154	190252	175693	185087	102363	69838	77213
Dps (lit/seg)	39.41	15.84	5.31	30.77	65.09	61.79	71.03	65.60	71.41	38.22	26.94	28.83
Efa. (%)	33.80	33.80	33.80	33.80	33.80	33.80	30.31	40.40	30.70	33.80	33.80	33.80
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Efap (%)	33.80											

La tabla nos muestra el procesamiento de datos para hallar la demanda del cultivo, demanda del proyecto que es el volumen de agua aplicado con el riego (oferta) y la eficiencia de aplicación a nivel parcela con un valor de 33.80 % en el sector Chuquiamo.

**Figura 28:**

Gráfico del balance hídrico de la parcela de muestra del caserío Chuquiamo



El gráfico nos muestra la oferta y la demanda y la diferencia de estas dos, la oferta está dada por los aforos realizados a la entrada de cada parcela de muestra y la demanda por el cálculo del requerimiento de agua del cultivo plasmados en la cédula de cultivo; según la información generada se tiene que la oferta en la parcela es mayor que la demanda por ende se puede decir que la aplicando de riego por inundación no es la correcta porque hay un volumen aplicado mucho mayor al requerido, dando como resultado una baja eficiencia de aplicación a nivel parcela.

**Tabla 79:**

Cálculo de la lámina de riego, frecuencia de riego y tiempo de riego en la parcela de muestra del caserío Chuquiamo.

Datos de laboratorio y de campo (Caserío Chuquiamo)		
CC: capacidad de campo	14.58	%
CM: punto de marchitez	7.54	%
DA: densidad aparente	1.48	....
Pr: profundidad radicular	600	mm
Pref: profundidad radicular efect.	450	mm
Dp: demanda o requerimiento del cultivo	3.18	mm/día
U: coeficiente de agotamiento	44%	%
Ib: Infiltración básica	57.72	(mm/min)
Clase Textural (Franco Arenoso)		
Análisis textural	Porcentaje (%) de muestra	Coef. de agotamiento (U)
Arcilla	12%	60%
Limo	18%	50%
Arena	70%	40%
Lamina, Frecuencia, y Tiempo de riego Caserío Chuquiamo-San Marcos		
Lamina de riego (mm)	$Lr = (CC - CM) * DA * Pref * U / 100$ mm	20.7
Frecuencia de riego (días)	$Fr = ((CC - CM) * DA * Pref * U) / (100 * Dp)$ días	7
Tiempo de riego (min.)	$Tr = Lr / Ib$ (min)	0.4
Tiempo de riego (seg.)	$Tr = Lr / Ib * 60$ (seg.)	22

Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de INIA con muestras de suelo inalteradas y también en la misma parcela de muestra del sector Chuquiamo.

**Tabla 80:**

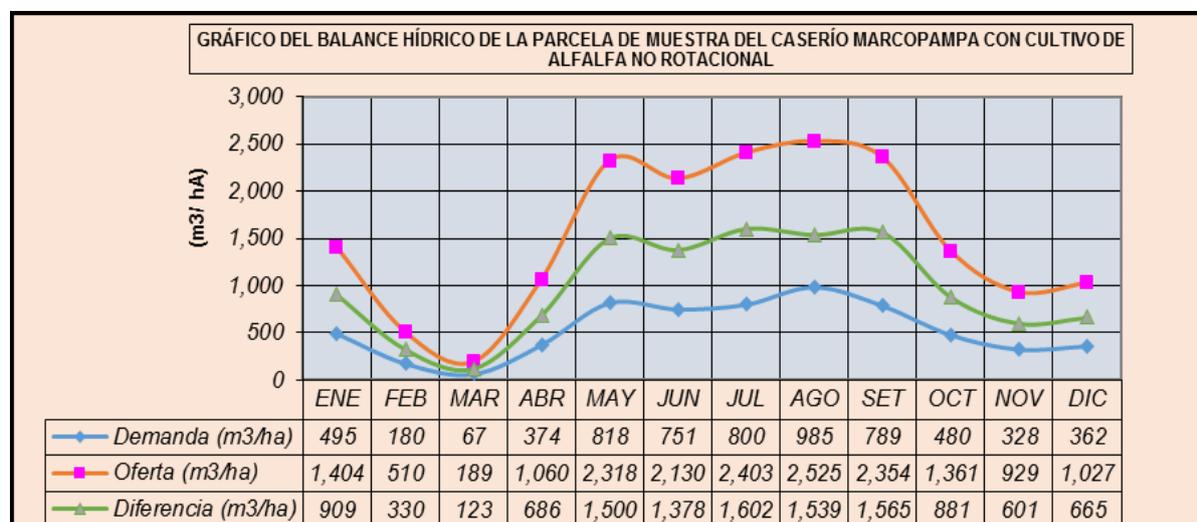
Cédula de cultivo de la parcela de muestra del caserío Marcopampa con cultivo de alfalfa

Ubicación de la parcela en estudio: Caserío Marcopampa (94.32 ha); cultivo de alfalfa no rotacional												
CÉDULA DE CULTIVO												
MES	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
A (ha)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
As(ha)	94.32	94.32	94.32	94.32	94.32	94.32	94.32	94.32	94.32	94.32	94.32	94.32
Kc	1.20	1.15	1.25	1.15	1.20	0.95	0.90	0.95	0.90	0.95	0.90	1.15
ETP (mm/mes)	107.28	94.42	90.54	86.28	89.92	85.10	92.04	108.88	115.40	115.29	108.74	101.42
ETR (mm/mes)	128.73	108.58	113.18	99.22	107.90	80.85	82.83	103.44	103.86	109.53	97.87	116.63
Pe (mm/mes)	79.20	90.60	106.50	61.80	26.10	5.70	2.80	4.90	25.00	61.50	65.10	80.40
Da (mm/mes)	49.53	17.98	6.68	37.42	81.80	75.15	80.03	98.54	78.86	48.03	32.77	36.23
Da (m3/ha)	495.3	179.8	66.8	374.2	818.0	751.5	800.3	985.4	788.6	480.3	327.7	362.3
Da (lit./seg)	0.02	0.01	0.00	0.02	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.02	0.02	0.02
Dp (m3/ha)	1403.8	509.7	189.3	1060.5	2318.4	2129.8	2402.7	2524.6	2353.6	1361.3	928.7	1026.8
Dps (m3)	132408	48076	17855	100023	218668	200878	226618	238121	221985	128392	87596	96848
Dps (lit/seg)	49.44	19.87	6.67	38.59	81.64	77.50	84.61	88.90	85.64	47.94	33.79	36.16
Efa. (%)	35.28	35.28	35.28	35.28	35.28	35.28	33.31	39.03	33.51	35.28	35.28	35.28
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Efap (%)	35.28											

La tabla nos muestra el procesamiento de datos para hallar la demanda del cultivo, demanda del proyecto que es el volumen de agua aplicado con el riego (oferta) y la eficiencia de aplicación a nivel parcela con un valor de 35.28 % con cultivo de alfalfa no rotacional.

**Figura 29:**

Gráfico del balance hídrico de la parcela de muestra del caserío Marcopampa



El gráfico nos muestra la oferta y la demanda y la diferencia de estas dos, la oferta está dada por los aforos realizados a la entrada de cada parcela de muestra y la demanda por el cálculo del requerimiento de agua del cultivo plasmados en la cédula de cultivo; según la información generada se tiene que la oferta en la parcela es mayor que la demanda por ende se puede decir que la aplicando de riego por inundación no es la correcta porque hay un volumen aplicado mucho mayor al requerido, dando como resultado una baja eficiencia de aplicación a nivel parcela.

**Tabla 81:**

Cálculo de la lámina de riego, frecuencia de riego y tiempo de riego en la parcela de muestra del caserío Marcopampa con cultivo de alfalfa.

Datos de laboratorio y de campo (Marcopampa, cultivo de alfalfa)		
CC: capacidad de campo	15.41	%
CM: punto de marchitez	8.06	%
DA: densidad aparente	1.46	....
Pr: profundidad radicular	600	mm
Pref: profundidad radicular efect.	450	mm
Dp: demanda o requerimiento del cultivo	3.18	mm/día
U: coeficiente de agotamiento	45%	%
Ib: Infiltración básica	77.72	(mm/min)
Clase Textural (Franco Arenoso)		
Análisis textural	Porcentaje (%) de muestra	Coef. de agotamiento (U)
Arcilla	18%	60%
Limo	18%	50%
Arena	64%	40%
Lamina, Frecuencia, y Tiempo de riego caserío Caserío Marcopampa-San Marcos		
Lamina de riego (mm)	$L_r = (CC - CM) * DA * Pref * U / 100$ mm	21.9
Frecuencia de riego (días)	$Fr = ((CC - CM) * DA * Pref * U) / (100 * D_p)$ días	7
Tiempo de riego (min.)	$Tr = L_r / I_b$ (min)	0.3
Tiempo de riego (seg.)	$Tr = L_r / I_b * 60$ (seg.)	17

Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de INIA con muestras de suelo inalteradas y también en la misma parcela de muestra del sector Marcopampa con cultivo de alfalfa.

**Tabla 82:**

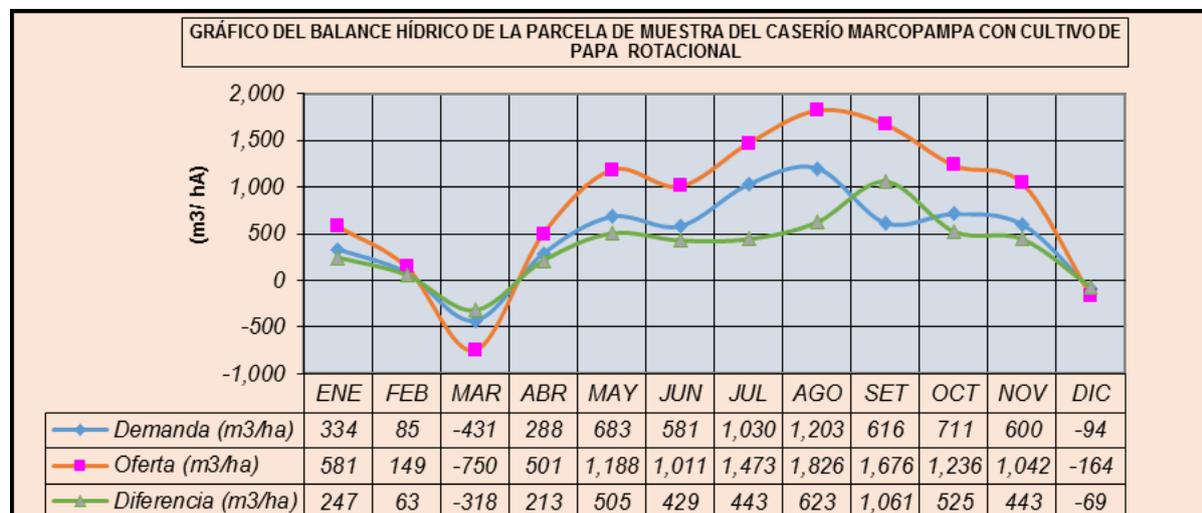
Cédula de cultivo de la parcela de muestra del caserío Marcopampa con cultivo de papa.

Ubicación de la parcela en estudio: Caserío Marcopampa (21.59 ha); cultivo de papa rotacional												
CÉDULA DE CULTIVO												
MES	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
A (ha)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
As(ha)	21.59	21.59	21.59	21.59	21.59	21.59	21.59	21.59	21.59	21.59	21.59	21.59
Kc	1.05	1.05	0.70	1.05	1.05	0.75	1.15	1.15	0.75	1.15	1.15	0.70
ETP (mm/mes)	107.28	94.42	90.54	86.28	89.92	85.10	92.04	108.88	115.40	115.29	108.74	101.42
ETR (mm/mes)	112.64	99.14	63.38	90.59	94.41	63.83	105.84	125.22	86.55	132.59	125.05	70.99
Pe (mm/mes)	79.20	90.60	106.50	61.80	26.10	5.70	2.80	4.90	25.00	61.50	65.10	80.40
Da (mm/mes)	33.44	8.54	-43.12	28.79	68.31	58.13	103.04	120.32	61.55	71.09	59.95	-9.41
Da (m3/ha)	334.4	85.4	-431.2	287.9	683.1	581.3	1030.4	1203.2	615.5	710.9	599.5	-94.1
Da (lit./seg)	0.01	0.00	-0.02	0.01	0.03	0.02	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03	0.00
Dp (m3/ha)	581.4	148.5	-749.7	500.5	1187.6	1010.5	1473.2	1825.9	1676.3	1235.9	1042.3	-163.6
Dps (m3)	12552	3207	-16186	10807	25642	21818	31808	39422	36194	26684	22505	-3532
Dps (lit/seg)	4.69	1.33	-6.04	4.17	9.57	8.42	11.88	14.72	13.96	9.96	8.68	-1.32
Efa. (%)	57.52	57.52	57.52	57.52	57.52	57.52	69.94	65.90	36.72	57.52	57.52	57.52
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Efap (%)	57.52											

La tabla nos muestra el procesamiento de datos para hallar la demanda del cultivo, demanda del proyecto que es el volumen de agua aplicado con el riego (oferta) y la eficiencia de aplicación a nivel parcela con un valor de 57.52 %, con cultivo de papa y riego por surcos.

**Figura 30:**

Gráfico del balance hídrico de la parcela del caserío Marcopampa con cultivo de papa



El gráfico nos muestra la oferta y la demanda y la diferencia de estas dos, la oferta está dada por los aforos realizados a la entrada de cada parcela de muestra y la demanda por el cálculo del requerimiento de agua del cultivo plasmados en la cédula de cultivo; según la información generada se tiene que la oferta en la parcela es mayor que la demanda por ende se puede decir que en el riego por surco hay un volumen perdido de casi el 50%, pero de mejor eficiencia de aplicación a nivel parcela, que el riego por inundación.

**Tabla 83:**

Cálculo de la lámina de riego, frecuencia de riego y tiempo de riego en la parcela de muestra del caserío Marcopampa con cultivo de papa.

Datos de laboratorio y de campo (Marcopampa, cultivo de papa)		
CC: capacidad de campo	15.41	%
CM: punto de marchitez	8.06	%
DA: densidad aparente	1.46	....
Pr: profundidad radicular	500	mm
Pref: profundidad radicular efect.	375	mm
Dp: demanda o requerimiento del cultivo	3.88	mm/día
U: coeficiente de agotamiento	45%	%
Ib: Infiltración básica	77.72	(mm/min)
Clase Textural (Franco Arenoso)		
Análisis textural	Porcentaje (%) de muestra	Coef. de agotamiento (U)
Arcilla	18%	60%
Limo	18%	50%
Arena	64%	40%
Lamina, Frecuencia, y Tiempo de riego Caserío Marcopampa-San Marcos		
Lamina de riego (mm)	$Lr = (CC - CM) * DA * Pref * U / 100$ mm	18.3
Frecuencia de riego (días)	$Fr = ((CC - CM) * DA * Pref * U) / (100 * Dp)$ días	5
Tiempo de riego (min.)	$Tr = Lr / Ib$ (min)	0.2
Tiempo de riego (seg.)	$Tr = Lr / Ib * 60$ (seg.)	14

Los datos fueron obtenidos en el laboratorio de INIA, con muestras de suelo inalteradas de la parcela del sector Marcopampa con cultivo de papa con riego por surcos, se evidencia la falta de frecuencia de riego por ende se puede decir que es un riego ineficiente.

**Tabla 84:**

Eficiencia promedio de aplicación a nivel parcela del sistema de riego del canal de riego.

eficiencia promedio de aplicación del proyecto del canal de riego San Marcos II Chuquiamo (221.62 ha)		
sector	área (ha)	eficiencia %
Limapampa (alfalfa)	7.9	31.37
El Alizal (alfalfa)	21.77	29.87
Chuquiamo (aspersión.) (alfalfa)	4	82.43
Chuquiamo (alfalfa)	72.04	33.80
Marcopampa (alfalfa)	94.32	35.28
Marcopampa (papa)	21.59	57.52
Eficiencia promedio de aplicación %	37.15	

Se promedia la eficiencia de acuerdo al porcentaje de terreno de cada sector, teniendo como resultado la eficiencia de aplicación de todo el proyecto.

#### 4.3.4. Demanda de agua para el proyecto

**Tabla 85:**

Demanda o requerimiento de agua mensual y anual del proyecto en los cuatro sectores de riego con 221.62 hectáreas, para uso agrícola a nivel parcela.

Demanda de agua de todo el proyecto a nivel parcela del canal de riego San Marcos - II Chuquiamo (221.62 ha)								
Mes	Limapampa (7.9 ha)	El Alizal (21.77 ha)	Chuquiamo (aspersión.) (4 ha)	Chuquiamo (72.04 ha)	Marcopampa alfalfa (94.32 ha)	Marcopampa papa (21.59 ha)	volumen mensual (m <sup>3</sup> )	volumen anual (m <sup>3</sup> )
ene.	12472.64	36101.73	2403.50	105564.15	132407.69	12552.42	301502.13	3970045.36
feb.	4528.72	13108.27	872.69	38329.57	48076.26	3206.57	108122.09	
mar.	1681.93	4868.29	324.11	14235.26	17855.09	-16185.78	22778.90	
abr.	9422.04	27271.84	1815.64	79744.89	100022.94	10806.68	229084.02	
may.	20598.22	59621.01	3969.32	174336.29	218667.67	25642.48	502834.99	
jun.	18922.50	54770.67	3646.40	160153.54	200878.44	21818.49	460190.04	
jul.	22013.37	72543.91	4545.25	190251.92	226617.84	31808.47	547780.75	
ago.	20698.80	52651.11	4445.59	175692.61	238121.41	39422.15	531031.67	
sep.	22421.40	69105.69	3576.53	185086.67	221985.10	36193.88	538369.27	
oct.	12094.39	35006.89	2330.61	102362.75	128392.22	26684.40	306871.26	
nov.	8251.46	23883.64	1590.07	69837.55	87596.30	22504.93	213663.95	
dic.	9122.92	26406.06	1758.01	77213.30	96847.60	-3531.60	207816.29	

Se muestra la demanda o requerimiento mensual y anual del proyecto nivel parcela, hay mayor demanda en el mes de julio con 547780.75m<sup>3</sup> y un volumen anual de 3970045.36m<sup>3</sup>.

**Tabla 86:**

Demanda de agua mensual y anual desde la entrada de la captación hasta la aplicación.

Demanda de agua mínima en el río antes de la entrada de la captación para todo el sistema del canal de riego San Marcos - II Chuquiamao (221.62 ha)								
Mes	Limapampa (7.9 ha)	El Alizal (21.77 ha)	Chuquiamao (aspersión.) (4 ha)	Chuquiamao (72.04 ha)	Marcopampa alfalfa (94.32 ha)	Marcopampa papa (21.59 ha)	volumen mensual (m3)	volumen anual (m3)
ene.	20675.79	59845.54	3984.27	174992.84	219491.17	20808.05	499797.66	6581112.34
feb.	7507.23	21729.48	1446.66	63538.62	79695.63	5315.51	179233.12	
mar.	2788.12	8070.13	537.28	23597.67	29598.24	-26831.04	37760.40	
abr.	15618.83	45208.30	3009.78	132192.46	165807.22	17914.15	379750.74	
may.	34145.50	98833.28	6579.91	288995.88	362483.65	42507.33	833545.54	
jun.	31367.67	90792.91	6044.61	265485.24	332994.57	36168.34	762853.33	
jul.	36491.38	120255.47	7534.62	315379.07	375662.57	52728.64	908051.75	
ago.	34312.23	87279.32	7369.42	291244.23	394731.96	65349.79	880286.94	
sep.	37167.77	114555.95	5928.78	306816.69	367982.92	59998.31	892450.42	
oct.	20048.77	58030.63	3863.44	169685.91	212834.75	44234.52	508698.02	
nov.	13678.38	39591.72	2635.85	115769.14	145207.68	37306.24	354189.02	
dic.	15123.00	43773.12	2914.23	127995.87	160543.50	-5854.31	344495.40	

Se muestra la demanda o requerimiento mensual y anual del proyecto, hay una mayor demanda en el mes de julio con 908051.75 m3 y un volumen anual de 6581112.34m3.

**Tabla 87:**

Demanda de agua y eficiencia en el sistema de riego.

Demanda de agua y eficiencia de todo el sistema de riego del canal de riego San Marcos - II Chuquiamao (221.62 ha)						
Partes del sistema de riego	Efic.	Eficiencias %	eficiencia desde captación hasta la aplicación	Caudal (m3/año) demandado a la entrada de cada tramo del sistema	Pérdidas en las diferentes partes del sistema (m3/año)	Partes del sistema donde se requiere el caudal anual calculado
Captación	0.806	80.563	80.563	6581112.34	1279159.63	caudal anual disponible a ser captado
Conducción	0.902	90.158	72.634	5301952.72	521829.07	caudal anual en la conducción
Distribución	0.831	83.053	60.325	4780123.64	810078.28	caudal anual en la distribución
Aplicación	0.371	37.148	22.409	3970045.36	2562767.52	caudal anual en la aplicación
Cultivo	extraído y sumado de cada cédula de cultivo			1407277.85	-	caudal consumido anual neto del cultivo
Sistema de riego	0.224	22.409	22.409	6581112.34	5173834.50	caudal anual para el sistema de riego

La tabla muestra la eficiencia del sistema en %, las pérdidas y los caudales demandados a lo largo de todo el sistema de riego para las 221.62 ha.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- La recopilación de la información cartográfica y topográfica se realizó de manera conjunta con el desarrollo del proyecto de investigación, según la cartografía el proyecto cuenta con 254.7 has y bajo riego 221.62 has; el levantamiento topográfico de la capación se realizó con estación total y de los cinco terrenos de cultivo utilizando dron, la captación tiene un ancho de 27.3 metros y una pendiente de 4.41 % ,es un rio de montaña; los terrenos de cultivo de muestra tienen las siguientes características, en el caserío Limapampa el terreno de cultivo tiene una pendiente de 6.57 % , El Alizal el terreno de cultivo tiene una pendiente de 15.32 % , Chuquiamo que utiliza riego por aspersión el terreno de cultivo tiene una pendiente de 14.57 % , Chuquiamo que utiliza riego por inundación el terreno de cultivo tiene una pendiente de 2.53 % y en el caserío Marcopampa el terreno de cultivo tiene una pendiente de 6.75 % , entonces los caseríos de Chuquiamo y El Alizal están más propensos a erosión de suelo, bajando al eficiencia de aplicación a nivel parcela.
- La provincia de San Marcos, es un valle interandino donde se ubica el proyecto de riego, también cuenta con una estación meteorológica automatizada ubicada en la Latitud: 7° 19' 21" Sur, Longitud: 78° 10' 21" Oeste y una altitud 2293 m.s.n.m., de donde se pudo extraer la información gracias a las plataformas virtuales del SENAMHI y ANA; de acuerdo con la información recopilada y procesada de la estación se tiene una temperatura máxima de 28.8 C° en el mes de noviembre y una temperatura mínima de 3.4 C° en el mes de julio, con precipitación mensual hay dos épocas bien marcadas una lluviosa desde el mes de octubre a abril, donde el mes de marzo es donde hay más precipitación con 136.2 mm y la época de estiaje desde el mes de mayo hasta el mes de septiembre, donde el mes de julio tiene la menos

precipitación con 2.8 mm; la humedad la cual tiene relación directa con la precipitación, mayor es en el mes de marzo con un valor de 79.7% y menor humedad es el mes de agosto con 58.1 %.

- La infraestructura de riego del sistema se caracterizó de acuerdo el lugar donde se realizaron los aforos empezando por la captación la cual cuenta un barraje totalmente erosionado y con socavación, se debe construir un nuevo barraje con una longitud de 27.3 m, Ventana de Captación en buen estado, solo para una limpieza y resanes en el tarrajeo tiene un metro de ancho por 1.05 m de alto, enrejado en buen estado, solo mantenimiento de limpieza, tiene tres rieles distribuidos cada 0.25 m y de un alto de 0.77m, Colchón Disipador inexistente, presenta socavamiento de hasta 1.35 m a la caída del agua después del barraje, Compuerta en buen estado, para mantenimiento contra la corrosión con pintura anticorrosiva y engrase del tonillo gusano, tiene un alto de 1.53 m y un ancho de 1 m, Canal de limpia destruido por las fuertes avenidas, se debe construir nuevo canal, pero hay restos que fue de 2.0 m de ancho, Antecanal en buen estado solo mantenimiento general de limpieza, es de sección rectangular de 1.20 m de alto por 1 m de ancho, Aliviadero de Demasías en buen estado, solo mantenimiento general y limpieza, tiene un metro de ancho por 40cm de alto, Desarenador en buen estado, para mantenimiento de limpieza, es de 3.10 metros de largo por 1.0 m de ancho y de altura 1.50 m, Muros de Encauzamiento en un estado regular, los cuales tendrán que recibir un mantenimiento correctivo sobre todo en el tarrajeo ya que hay partes, que por el paso del tiempo se han visto afectadas, a lado de la compuerta aguas arriba tiene una longitud de 23,80 m y una altura de 2.30 m; luego el canal de conducción que en el tramo de 1 .0 km tiene 201 juntas en mal estado, 74 grietas y 15 roturas ; en la distribución hacia los terrenos de cultivo se tiene en el caserío Chuquiamo, lateral

"D" tiene 34 juntas en mal estado, 14 grietas y 4 roturas en 350 m, en el caserío Marcopampa, lateral "F" tiene 64 juntas en mal estado, 20 grietas y 2 roturas en 450 m, entonces de acuerdo a lo descrito podemos decir que la captación es donde se requiere un arreglo urgente.

- Los terrenos de cultivo fueron caracterizados con el análisis de las muestras de suelo agrícola en el laboratorio de INIA Cajamarca, se tiene las características fisicoquímicas y los parámetros hídricos los cuales son de suma importancia en la determinación de la lámina, Frecuencia, y Tiempo de riego, de las cinco parcelas de muestra de los cuatro caseríos, En campo se hizo pruebas de infiltración con el método del infiltrómetro de doble anillo, con lo que se tiene la infiltración básica (Ib) de cada parcela; Limapampa con sistema de riego por inundación presenta un suelo franco arcilloso con una (Ib) 38.93 mm/min , El Alizal con sistema de riego por inundación presenta un suelo franco arenosos con una (Ib) 145.34 mm/ min , Marcopampa con sistema de riego por inundación y por surcos presenta un suelo franco arenoso con una (Ib) 77.72 mm/ min , Chuquiamo con sistema por aspersión se tiene un suelo franco arcilloso con una (Ib) 41.16 mm/ min y Chuquiamo con el riego por inundación se tiene un suelo franco arenoso con una (Ib) 57.72 mm/ min. Por último, en la parcela de Marcopampa donde se tiene riego por surcos cultivo de papa, se verifico con una prueba de avance, la construcción de estos surcos donde se obtuvo que los surcos están bien constituidos ya que los agricultores cuentan con una gran experiencia en los cultivos.
- La eficiencia de funcionamiento de la captación se determinó teniendo en cuenta el caudal máximo a captar de 485 l/s según resolución del ANA del año 2014, se realizaron aforos semanales de captación en los meses, julio con 79.06 % de eficiencia de funcionamiento, agosto con 83.30 % de eficiencia de funcionamiento

y septiembre con 79.33 % y un promedio de eficiencia de funcionamiento de 80.56 %, podemos decir que la captación funciona ineficientemente, pues se debe a la infraestructura en mal estado y a la mala oferta hídrica ya que también se realizaron aforos del caudal del río, siendo más reducido a finales del mes de agosto llegando a 488.3 l/s, concluyendo que no hay el caudal suficiente para ser captado ya que los usuarios del canal de riego están condicionados a dejar un caudal ecológico y de uso para otros canales que están situados aguas abajo del río.

- La eficiencia de funcionamiento de la conducción del canal se determinó mediante el reconocimiento de toda su longitud, la cual es de 7.787 km, durante este recorrido, se evidenció un deterioro estructural a lo largo de todos los tramos; para realizar el estudio, se seleccionó una muestra representativa que reflejara el estado general de la conducción, esta muestra corresponde a un tramo de 1.0 km ubicado entre el kilómetro 4.0 y el kilómetro 5.0 del canal; el punto inicial del tramo representativo se encuentra a 30 metros después de la salida del sifón que cruza el río Muyoc, en el caserío Chuquiamo. Las progresivas consideradas fueron: 0+000 (inicio), 0+550 (a los 550 metros) y 1+000 (al final del tramo). En estos tres puntos se tomaron coordenadas precisas, que fueron marcadas y utilizadas para realizar los aforos respectivos; las mediciones se llevaron a cabo en los meses de julio, agosto y septiembre, obteniéndose los siguientes resultados de eficiencia funcionamiento de la conducción: 98.698% en julio, 98.745% en agosto y 98.766% en septiembre. El promedio de eficiencia en el tramo de muestra fue de 98.736%; este valor se extendió para toda la longitud de la conducción, estimando una eficiencia general de 90.158%. Con base en estos resultados, se concluye que el canal de conducción se encuentra en condiciones regulares, lo cual es razonable considerando su

antigüedad. Sin embargo, se identifican posibilidades claras de mejora, ya que en canales nuevos se espera una eficiencia de conducción superior.

- Para determinar la eficiencia funcionamiento de la de distribución, se realizaron aforos en los canales que conducen el agua desde el canal principal hasta las parcelas seleccionadas como muestra. Se utilizaron los mismos métodos de medición empleados en la evaluación de la conducción, las mediciones se llevaron a cabo durante los meses de julio, agosto y septiembre, obteniéndose los siguientes resultados de eficiencia funcionamiento de la distribución: 98.31% en julio, 98.61% en agosto y 98.44% en septiembre. Esto representa un promedio de 98.45% de eficiencia en un tramo de 1.0 kilómetro; esta muestra fue considerada representativa y su análisis se extendió a toda la red de distribución, cuya longitud total es de 10.956 kilómetros, según la resolución del canal de riego. Al aplicar esta proyección, se obtuvo una eficiencia funcionamiento general del 83.05% en todo el sistema de distribución, este nivel de eficiencia indica que la distribución se encuentra en condiciones deficientes, lo cual se atribuye tanto a la antigüedad de los canales como al hecho de que en el sector El Alizal, los canales de distribución son de tierra, lo que incrementa las pérdidas por infiltración.
- Eficiencia de aplicación, se seleccionó parcelas de muestra en los diferentes sectores, se inició con la medición de caudales obteniendo la demanda del proyecto mensual (m<sup>3</sup>/ha) una vez por mes, desde julio hasta el mes de septiembre, y con ayuda de la cédula de cultivo se pudo calcular la demanda del cultivo o requerimiento neto; con estos datos se pueden determinar la eficiencia de riego de sectores de Limapampa con cultivo de alfalfa con 31.37%, El Alizal con cultivo de alfalfa riego 29.87% , Chuquiamo con cultivo de alfalfa por sistema de riego por aspersión con 82.43%, Chuquiamo con cultivo de alfalfa con 33.80% , Marcopampa

con cultivo de alfalfa con 35.28%, Marcopampa con cultivo de papa riego por surcos con 57.52%; estas parcelas fueron la unidad de análisis y para todo el sistema que irriga 221.62 ha; se extendió teniendo en cuenta la el área de cada sector de riego, obteniendo una eficiencia promedio de aplicación a nivel parcela de todo el sistema que es de 37.15 %; lo que indica que hay gran pérdida por percolación y también escorrentía al momento de la aplicación del riego.

- La eficiencia de funcionamiento del sistema según la Autoridad Nacional del Agua es el producto de todas las eficiencias desde la captación hasta la ampliación a nivel parcela, obteniendo un valor de 22.409 %, lo cual nos indica que por cada 100 litros de agua que tiene que ser captado, el cultivo solo aprovecha 22.409 litros, y la diferencia es la pérdida en el sistema en las zonas ya mencionadas.
- Para la demanda o requerimiento de agua, en campo, se halló la demanda del proyecto o demanda bruta de cada sector midiendo los caudales de ingreso a cada parcela, la demanda de cultivo o requerimiento neto se obtuvo gracias a la cedula de cultivo de cada parcela en los sectores de estudio ya mencionados, por lo tanto se concluye que para las 221.62 ha, la mayor demanda del proyecto mensual a nivel parcela es en el mes de julio con 547780.75 m<sup>3</sup>/mes y la demanda anual del proyecto a nivel parcela es de 3970045.36 m<sup>3</sup>/año; pero la mayor demanda de todo el proyecto desde la entrada a la captación en el mes de julio es de 908051.75 m<sup>3</sup>/mes y anual es de 6581112.34 m<sup>3</sup>/año; realizando la comparación con lo descrito en la resolución directoral del canal de riego para el área de 221.62 ha de terreno, se necesita 2659000.03 m<sup>3</sup>/año, entonces se puede decir que hay un déficit de agua para riego de 3922112.31 m<sup>3</sup>/año, es por ello que hay parcelas las cuales se quedan sin sembrar en esta época del año.

- De acuerdo a la evaluación de operación y mantenimiento está dentro de lo requerido, en la operación hay turnos de riego cada 8 días con un padrón donde existe rol y tiempo de riego de cada usuario, también se cuenta con un operario del sistema por parte de las dos juntas directivas tanto de Limapampa y El Alizal como de Chuquiamo y Marcopampa los cuales están atentos las 24 horas a la repartición de los caudales y la supervisión de las estructuras de riego desde la captación hasta los terrenos de cultivo, multando a los usuarios que incumplan los acuerdos en acta; el mantenimiento por lo general es dos veces al año es decir en un lapso de seis meses y cada usuario tiene un tramo del canal destinado a su limpieza realizándolo como una minga, todos al mismo tiempo.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda la implementación de más riegos tecnificados ya que según las condiciones topográficas obtenidas por la caracterización de los terrenos de cultivo en los caseríos El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa, cumplen con las condiciones adecuadas como la pendiente, esto reduciría significativamente el consumo de agua por usuario.
- Para el aumento de la oferta hídrica del río Muyoc, se recomienda implementar un plan de reforestación en la cuenca, puesto que en los meses de estiaje se tiene poca oferta y gran demanda, las precipitaciones son casi inexistentes según los aforros realizados en el río en los meses de estudio y esto debido a la poca cobertura vegetal aguas arriba y el cambio climático actual.
- Para los terrenos de cultivos se recomienda buscar nuevos cultivos los cuales tengan mayor productividad con menos consumo de agua como en los pastos mejorados ya que la mayoría se dedica al riego de pastos y alfalfa para la producción ganadera y animales menores como cuyes, también se recomienda tener en cuenta no solo el

uso de agua si no el abonamiento en sí, ya que va de la mano con la productividad de las plantas, con apoyo de las diferentes entidades agrarias públicas.

- Se recomienda la construcción de un nuevo barraje y colchón disipador en la captación ya que son prácticamente inexistentes, ya que aporta a la ineficiencia de funcionamiento de la captación, aparte de la escasez de agua del río Muyoc.
- Para conducción del canal se recomienda a corto plazo realizar mantenimientos correctivos como rellenar las juntas de dilatación en mal estado y grietas con material bituminosos, corregir el tarrajeo en paños que se requiera o remplazar el paño en donde exista roturas o fracturas graves, pero por el tiempo de construcción del canal se recomienda la demolición y reconstrucción total incluido los dos sifones puesto que ya cumplió su vida útil del hierro.
- En la distribución del canal, se recomienda a corto plazo el mantenimiento correctivo, rellenar las juntas de dilatación y grietas con material bituminosos, corregir el tarrajeo en paños que se requiera o remplazar el paño en donde exista roturas, revestir los tramos que falta y arreglar las compuertas de regulación de caudales a las entradas de los canales de distribución; pero por el tiempo de construcción de los canales se recomienda la demolición y reconstrucción total y así tener una mejor eficiencia del sistema.
- Para mejorar la eficiencia de aplicación, ya que es donde más se evidencia la pérdida de agua, por ende, una baja eficiencia, es recomendable optar por nuevos métodos de riego como los presurizados por goteo o aspersion ya que en los caseríos de El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa hay gran potencial para poder implementarlo casi en su totalidad de los terrenos de cultivo, si es que se hiciera por riego por aspersion la eficiencia de aplicación aumentaría, por lo tanto la eficiencia de

funcionamiento de la captación también aumentaría ya que se necesitaría menos agua de una manera hipotética, como se muestra en anexo 31.

- El requerimiento de agua para el uso agrícola de los terrenos de cultivo, es mayor al que actualmente tienen captado, es por ello que se recomienda realizar las mejoras o utilizar sistemas de riego adecuados para optimizar los recursos, ya que por el momento el caudal del río Muyoc no es suficiente en época de estiaje de acuerdo a los aforos realizados durante los meses de investigación, también otra alternativa es realizar la cosecha de agua en época de lluvias, con un sistema de represas revestidas con geosintético que sirven de reserva para los meses requeridos pero teniendo de negativo la reducción del área agrícola para este fin, estas son alternativas a corto o mediano plazo; pero si hablamos a largo plazo sería la siembra de agua principalmente con la reforestación de las zonas altas de la cuenca.
- En operación y mantenimiento se recomienda a la junta directiva y usuarios tener un capital de inversión para poder solucionar problemas pequeños como problemas de compuertas, y mantenimientos correctivos que pueda necesitar su canal de riego y evitar así el deterioro progresivo de las estructuras.
- Se recomienda a las justas de usuarios de riego, exponer la problemática a las entidades públicas, privadas y casas superiores de estudio, para ser estudiadas, analizadas y proponer soluciones que ayuden a mejorar el uso del agua ya que es de vital importancia para la vida y el desarrollo de la población.
- Para las entidades estatales y privadas se recomienda la inversión en este tipo de investigaciones de riego y uso del recurso hídrico para impulsar el interés en los profesionales que puedan estar decididos en realizar este tipo de trabajos a corto, mediano y largo plazo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### A. Bibliografía

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (1ra ed.). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 298 P.
- Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2019). *Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338* (1ra ed.). San Isidro, Lima, Perú: Autoridad Nacional Del Agua. 173 P.
- Cervantes Peralta, M. E. (2023). *Toma de muestra y análisis de suelo agrícola*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria -INIA. 6 P.
- Chiclote Aquino, O. (2017). *Evaluación de la eficiencia de conducción del canal de riego el Progreso Mayanal – Jaén – Cajamarca, tramo: km, 00+000 -01+000*. [Tesis]. Jaén, Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. 118 P.
- Chow, D. V. (2004). *Hidráulica de Canales Abiertos* (1ra ed.). Bogotá, Colombia: Editorial Nomos S.A. 337 P.
- Congreso de la República del Perú. (2014). *Ley de las Organizaciones de Usuarios de Agua, Ley N° 30157*. Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano. 3 P.
- García Rico, E. (1997). *Manual de diseño hidráulico de canales y obras de arte* (1ra ed.). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. 284 P.
- García Trisolini, E. (2008). *Manual práctico de pequeñas irrigaciones* (1ra ed.). Lima, Perú: Fondo Perú-Alemania. 136 P.
- Goicochea Infante, R. R. (2013). *Determinación de la eficiencia de conducción del canal de riego Huayrapongo, distrito de Baños del Inca - Cajamarca*. [Tesis]. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. 95 P.

- Huamán Vidaurre, J. F. (2013). *Captación de Agua Superficial, en condiciones de Alta Montaña*. (4ta ed.). Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca-Facultad de Ingeniería. 31 P.
- Mansen Valderrama, A. (2010). *Diseño de bocatomas, Apuntes de Clase* (1ra ed.). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento Académico de Hidráulica E Hidrología. 47 P.
- Núñez Leonardo, A., & Hurtado Mena, E. P. (2015). *Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistemas de Riego* (1ra ed.). Av. Guillermo Prescott N° 490, San Isidro, Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) - Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego (DGIAR). 54 P.
- Núñez Leonardo, A., Rosales Rivera, Á., Caro Díaz, R., Gamarra Alegre, L. d., & Hurtado Mena, E. P. (2014). *Manual N°2 Operación de Infraestructura de Sistemas de Riego* (1ra ed.). Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) - Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego (DGIAR). 20 P.
- Núñez Leonardo, A., Rosales Rivera, Á., Caro Díaz, R., Gamarra Alegre, L. d., & Hurtado Mena, E. P. (2014). *Manual N°3 Mantenimiento de Infraestructura de Sistemas de Riego* (1ra ed.). Lima, Perú: Ministro de Agricultura y Riego (MINAGRI) - Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego –DGIAR. 36 P.
- Palacios Velez, E. (2004). *La Eficiencia en el Uso del Agua en los Distritos de Riego* (1ra ed.). Montecillo, México: Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. 10 P.
- Ponce Sahuinco, R. T. (2015). *Diseño Hidráulico de Bocatoma. Caso: Bocatoma en el río Chicama, en la zona de Facalá*. [Tesis]. Lima, Perú: Universidad San Martín De Porres. 137 P.

Rosell Calderón, C. A. (1998). *Irrigación* (2da ed.). Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú. 322 P.

Valverde conejo, J. C. (2007). *Riego y Drenaje* (1ra ed.). Montes de Oca, San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia San José. 223 P.

Vásquez V., A., Vásquez R., I., Vásquez R., C., & Cañamero K., M. (2017). *Fundamentos de Ingeniería de Riegos* (1ra ed.). Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 442 P.

Vieira, M. (2008). *El desarrollo del Microrriego en América Central* (1ra ed.). Vitacura, Santiago, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 88 P.

Villón Béjar, M. (2008). *Hidráulica de Canales* (2da ed.). Lima, Perú: Ediciones Villón. 507 P.

## **B. Linkografía**

Domínguez Ramos, T. R. (2019). *Mejora de la eficiencia de riego por gravedad en las comisiones de riego del distrito de Chupaca-2018*. [Tesis]. Hunacayo, Junín, Perú: Universidad Continental. 124 P. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5494>

GEO GPS PERÚ. (2023). *Sistemas de Información Geográfica SIG en el Perú*. [en línea]. Lima: Geo GPS Perú, [consulta: 1 dic. 2023]. Disponible en: <https://www.geogpsperu.com/sig-en-el-peru>

Jimenez Benavides, J. R. (2017). *La eficiencia de conducción en el canal Troncal tramo no revestido progresiva 5+400 - 5+900; tramo revestido progresiva 17+006 -17+506 - caso comisión de usuarios margen izquierda*. [Tesis]. Tumbes, Perú: Universidad Nacional de Tumbes. 77 P. Obtenido de: <https://repositorio.untumbes.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e9dfd24b-0f4f-4585-a322-93a6ba268a32/content>

- Leon Morales, H. J., & Moreno Castillo, W. A. (2015). *Evaluación de la eficiencia de operación del sistema de riego de la comisión Santa María Valdivia - Valle Moche*. [Tesis]. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. 83 P. Obtenido de: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9268>
- Lux Monroy, M. A. (2010). *Medidores de Flujo en Canales Abiertos*. [Tesis]. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 138 P. Obtenido de: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3165\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3165_C.pdf)
- Rengifo Pinchi, G. (2011). *Rehabilitación y Mejoramiento canal lateral N° 8 margen Izquierda irrigación Sisa · San Pablo · Bella Vista- San Martín*. [Tesis]. Tarapoto, Perú: Universidad Nacional de San Martín. 217 P. Obtenido de: <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/362>
- Vargas Hoyos, J. J. (2020). *Implementación de modelo operacional para mejorar el manejo del agua de sistemas de riego en conducciones abiertas*. [Tesis de Maestría]. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 141 P. Obtenido de: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79290/12107834.2021.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Vila Solier, J. F. (2019). *Estimación de la eficiencia del sistema de riego por surcos en el cultivo de tara (caesalpinia spinosa), en el fundo Tanón, región Cajamarca*. [tesis] Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina. 130 P. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4209>

## ANEXOS

**Anexo 1:** Treceavo aforo en el río Muyoc, método del correntómetro.



**Anexo 2:** Sexto aforo en la captación del canal de riego, método del flotador con tulula.



**Anexo 3:** Noveno aforo en la conducción del canal de riego, método tubo de Pitot.



**Anexo 4:** Aforo en la distribución del canal de riego en el caserío Marcopampa, método del correntómetro.



**Anexo 5:** Aplicación del riego en la parcela de muestra en el caserío El Alizal, método por inundación.



**Anexo 6:** Llenado del reservorio para el riego en la parcela de muestra en el caserío Chuquiamao, método por Aspersión.



**Anexo 7:** Riego en la parcela de muestra en el caserío Chuquiama, método de riego por Aspersión.



**Anexo 8:** Aplicación del riego en la parcela de muestra en el caserío Marcopampa, método de riego por surcos para el cultivo de papa.



**Anexo 9:** Levantamiento topográfico con dron en el caserío Marcopampa.



**Anexo 10:** Levantamiento topográfico con dron en el caserío Limapampa (ortofoto).



**Anexo 11:** Levantamiento topográfico con estación total robotizada de la captación del canal de riego San Marcos II.



**Anexo 12:** Levantamiento topográfico con estación total robotizada de la captación del canal de riego San Marcos II aguas abajo.



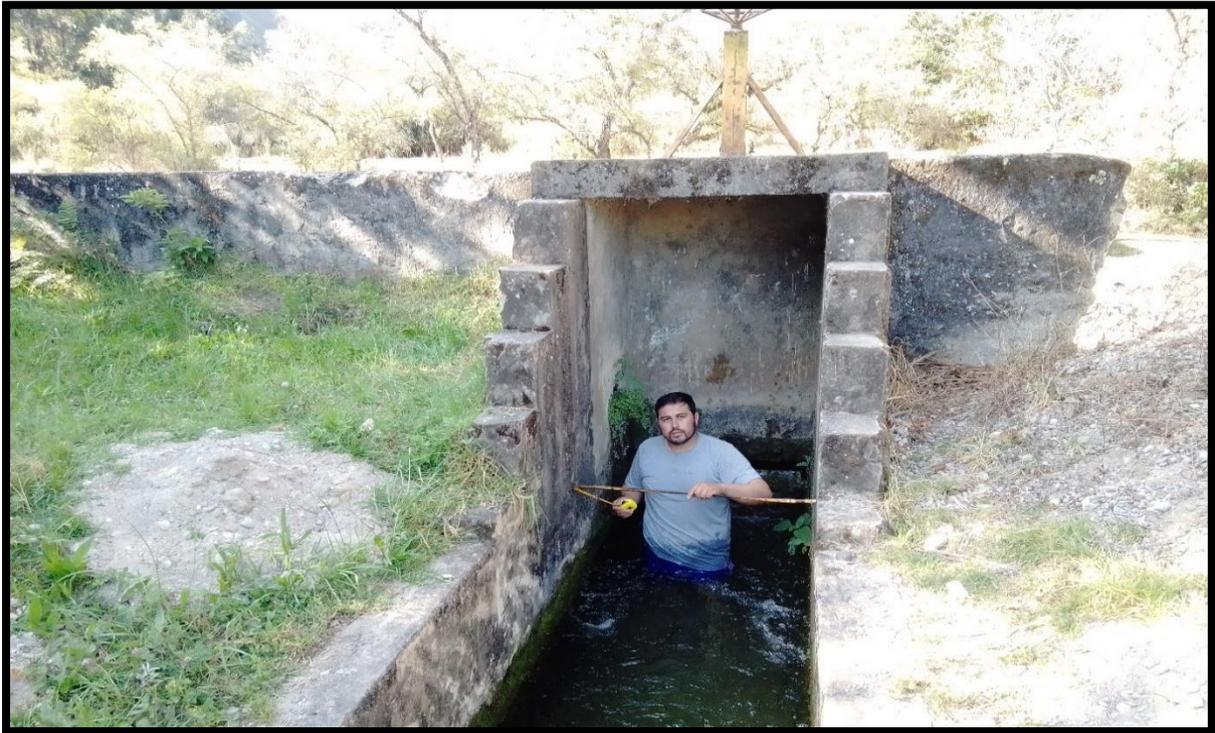
**Anexo 13:** Levantamiento topográfico con estación total robotizada de la captación del canal de riego San Marcos II aguas arriba.



**Anexo 14:** Caracterización de la captación (erosión de todo el barraje de la captación).



**Anexo 15:** Caracterización de la captación (compuerta y ventana de captación en buen estado).



**Anexo 16:** Caracterización de la captación (estado de conservación del muro de encausamiento derecho y vestigios de la huella hídrica).



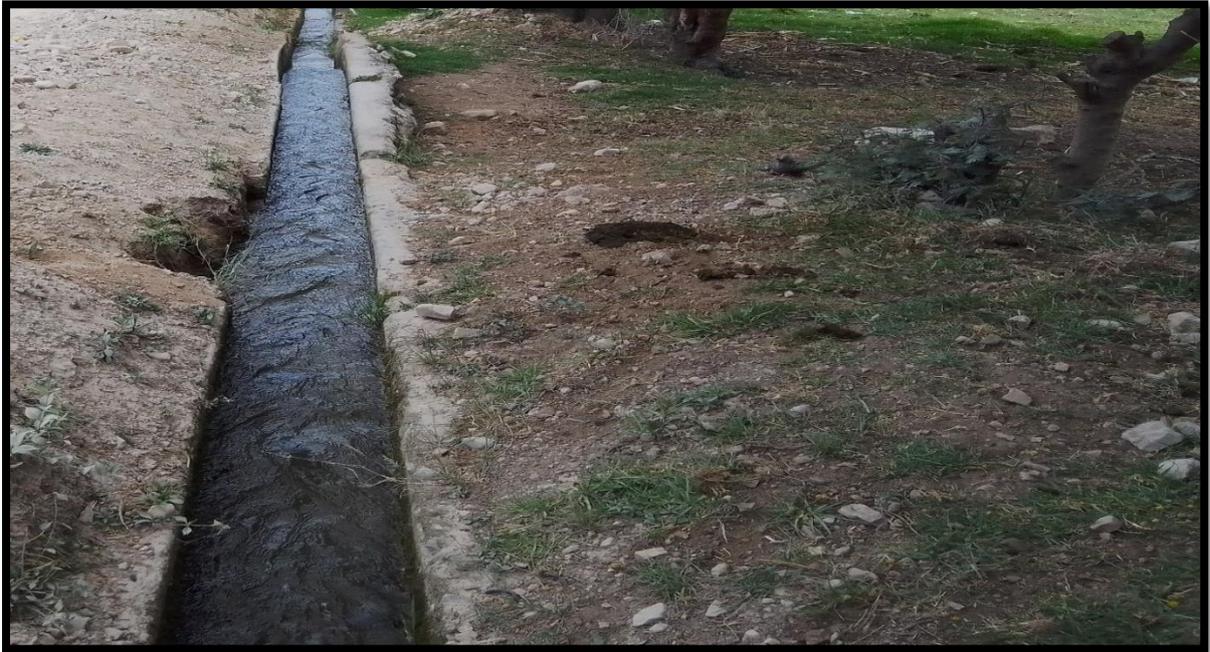
**Anexo 17:** Caracterización del canal de conducción (grieta longitudinal en el paño).



**Anexo 18:** Caracterización del canal de conducción (rotura a lado de la junta de dilatación).



**Anexo 19:** Caracterización del canal de distribución Marcopampa lateral “F” (rotura del canal y junta de dilatación en mal estado con presencia vegetación).



**Anexo 20:** Caracterización del canal de distribución El Alizal lateral “A” (canal sin revestimiento y con presencia de vegetación en todo el tramo).



**Anexo 21:** Extracción de muestra de suelo caserío Marcopampa.



**Anexo 22:** Extracción de muestra de suelo caserío Chuquiamo con sistema de riego por aspersión.



**Anexo 23:** Cuarteo y embolsado de muestra de suelo del caserío Limapampa, para posterior análisis.



**Anexo 24:** Prueba de infiltración en el terreno de cultivo de muestra en el caserío Chuquiamo.



**Anexo 25:** Prueba de infiltración en el terreno de cultivo de muestra en el caserío Chuquiamo con sistema de riego por aspersión.



**Anexo 26:** Prueba de infiltración en el terreno de cultivo de muestra en el caserío Limapampa.



**Anexo 27:** Temperatura máxima mensual de la estación San Marcos (1975 -2022).

<b>TEMPERATURA C° MÁXIMA MENSUAL - ESTACIÓN SAN MARCOS</b>												
<b>DEPARTAMENTO: CAJAMARCA</b>				<b>PROVINCIA: SAN MARCOS</b>					<b>DISTRITO: PEDRO GALVEZ</b>			
<b>LATITUD: 7° 19' 21" Sur</b>				<b>LONGITUD: 78° 10' 21" Oeste</b>					<b>ALTITUD: 2293 m.s.n.m.</b>			
<b>año</b>	<b>enero</b>	<b>febrero</b>	<b>marzo</b>	<b>abril</b>	<b>mayo</b>	<b>junio</b>	<b>julio</b>	<b>agosto</b>	<b>septiembre</b>	<b>octubre</b>	<b>noviembre</b>	<b>diciembre</b>
1975	27.2	26.2	25.8	24.8	25.8	24.8	24.8	26.8	26.4	26.8	27.2	27.4
1976	25.6	25.4	25.6	24.8	25.6	25.6	25.4	27.4	26.8	28.4	28.0	27.0
1977	26.0	24.6	25.6	26.4	26.4	25.4	26.4	25.8	26.6	27.2	27.8	27.4
1978	26.6	29.4	27.2	26.8	26.4	25.6	26.4	26.4	26.8	27.8	27.6	26.8
1979	27.6	25.8	25.8	26.6	26.6	26.4	25.8	26.8	27.4	28.8	29.0	28.8
1980	28.2	28.6	29.4	27.6	26.8	27.0	24.6	27.2	27.8	27.8	27.2	27.4
1981	26.8	25.0	27.6	27.4	27.4	26.2	26.6	26.8	26.8	28.8	27.0	28.6
1982	27.6	29.4	27.4	26.8	26.6	26.8	25.4	25.4	28.2	26.6	27.2	28.4
1983	28.8	29.4	27.6	26.4	28.8	27.4	27.0	27.0	26.8	27.2	28.2	27.6
1984	26.6	24.8	25.2	26.8	27.2	25.6	25.6	26.4	27.8	27.8	28.8	28.0
1985	27.2	26.4	27.8	27.2	27.0	25.4	25.8	27.2	27.6	27.8	28.2	27.8
1986	29.0	28.6	27.6	29.2	29.4	27.8	27.4	28.0	28.4	29.8	30.2	29.4
1987	28.6	28.4	30.8	29.6	28.4	28.6	29.2	27.6	30.2	30.8	30.6	30.4
1988	29.6	29.8	29.4	28.2	28.8	29.4	28.0	28.8	27.8	29.6	28.8	29.6
1989	27.8	27.6	28.0	28.6	28.2	28.6	28.6	28.6	27.8	27.6	30.0	30.2
1990	29.0	29.6	29.2	28.8	29.8	27.4	27.8	28.2	28.4	28.4	29.6	29.4
1991	28.8	30.2	28.0	28.2	27.6	30.0	27.6	27.4	29.6	28.4	29.8	31.2
1992	29.8	30.6	30.4	28.6	29.6	27.4	27.0	27.8	28.8	30.2	30.2	31.0
1993	29.4	28.2	27.4	27.6	29.6	29.0	29.2	28.6	28.0	28.4	30.0	28.2
1994	28.6	28.6	28.2	28.6	29.4	28.8	30.4	29.4	29.8	30.0	30.8	31.2
1995	30.6	29.4	29.0	29.0	29.2	29.0	29.4	29.8	30.6	31.0	31.4	31.2
1996	29.2	28.6	28.6	28.2	30.4	29.4	29.8	30.2	31.6	30.8	31.4	31.0
1997	31.6	31.0	31.0	31.2	30.4	29.8	29.6	29.2	32.6	31.8	30.8	29.2
1998	29.6	29.6	30.0	30.0	30.2	29.0	30.0	31.6	33.0	31.4	31.6	31.4
1999	30.4	27.0	28.2	28.2	28.6	28.8	28.6	28.9	29.1	28.8	30.2	28.5
2000	29.3	28.3	27.4	29.9	26.4	27.0	25.0	28.6	28.0	29.6	29.4	28.6
2001	26.2	26.8	25.0	26.6	27.2	26.5	26.3	26.7	27.4	28.0	28.2	29.8
2002	28.0	27.7	27.6	27.2	27.2	27.1	27.8	26.7	27.6	27.2	27.4	27.2
2003	29.6	28.5	26.6	27.1	27.3	27.7	26.4	26.5	28.6	29.4	29.7	27.6
2004	28.3	28.2	27.0	28.4	27.7	26.5	26.8	26.9	27.8	28.9	28.0	28.2
2005	27.9	28.3	26.9	28.4	27.5	27.5	28.2	27.0	28.6	28.0	29.6	28.6
2006	27.5	28.5	26.7	26.5	27.5	26.2	26.4	27.6	27.5	28.6	28.1	28.1
2007	30.0	29.2	26.0	26.1	27.4	26.4	27.4	27.5	26.2	28.5	27.1	28.2
2008	26.1	26.0	25.7	27.0	27.4	27.9	27.4	27.2	27.9	28.1	29.0	28.8
2009	27.4	26.6	26.0	26.2	27.2	27.2	26.8	27.8	27.7	29.3	29.5	27.6
2010	28.6	29.0	29.0	28.6	28.5	27.4	28.0	27.3	28.5	29.3	29.4	27.8
2011	27.6	27.5	27.2	27.6	27.6	27.7	27.6	29.4	27.6	27.7	29.4	28.5
2012	26.4	26.9	26.6	26.6	27.2	27.4	28.6	28.6	27.6	27.9	27.9	27.9
2013	28.4	28.0	26.5	28.4	27.2	27.4	25.6	27.4	27.8	27.9	29.0	28.7
2014	27.7	27.5	27.2	27.1	27.0	28.5	28.2	28.5	28.5	29.6	29.9	29.2
2015	27.9	28.7	27.7	27.6	27.8	27.8	28.1	27.6	29.7	30.1	30.2	30.4
2016	30.7	29.1	29.4	27.5	29.3	28.1	28.2	27.8	29.4	30.2	31.3	29.2
2017	28.3	28.7	27.4	27.6	27.9	28.1	27.9	28.2	28.7	29.7	30.7	29.1
2018	28.3	28.7	27.5	27.6	27.6	27.5	27.6	26.6	29.0	28.2	27.7	28.4
2019	28.6	27.9	27.2	27.0	26.4	27.3	28.4	27.1	27.3	27.0	29.1	28.6
2020	28.9	29.7	29.3	28.7	28.4	27.2	26.6	27.7	28.3	29.4	30.7	27.1
2021	26.9	29.6	28.1	27.9	27.8	27.3	26.3	28.0	28.3	30.5	27.5	28.9
2022	28.8	26.8	27.7	27.3	27.2	26.5	26.6	27.5	29.2	29.6	29.3	28.6
<b>Max.</b>	31.6	31.0	31.0	31.2	30.4	30.0	30.4	31.6	33.0	31.8	31.6	31.4
<b>Min.</b>	25.6	24.6	25.0	24.8	25.6	24.8	24.6	25.4	26.2	26.6	27.0	26.8
<b>Media</b>	28.3	28.1	27.6	27.7	27.9	27.4	27.3	27.7	28.4	28.8	29.2	28.8
<b>D.E.</b>	1.32	1.51	1.43	1.23	1.19	1.21	1.41	1.15	1.42	1.25	1.30	1.23

**Anexo 28:** Temperatura mínima mensual de la estación San Marcos (1975 -2022).

<b>TEMPERATURA C° MINIMA MENSUAL - ESTACIÓN SAN MARCOS</b>												
<b>DEPARTAMENTO: CAJAMARCA</b>				<b>PROVINCIA: SAN MARCOS</b>					<b>DISTRITO: PEDRO GALVEZ</b>			
<b>LATITUD: 7° 19' 21" Sur</b>				<b>LONGITUD: 78° 10' 21" Oeste</b>					<b>ALTITUD: 2293 m.s.n.m.</b>			
<b>año</b>	<b>enero</b>	<b>febrero</b>	<b>marzo</b>	<b>abril</b>	<b>mayo</b>	<b>junio</b>	<b>julio</b>	<b>agosto</b>	<b>septiembre</b>	<b>octubre</b>	<b>noviembre</b>	<b>diciembre</b>
1975	8.6	10.2	10.4	9.2	7.2	5.4	2.8	4.0	6.6	8.8	4.6	4.8
1976	10.8	9.2	7.8	7.6	7.0	6.0	3.4	6.4	7.0	6.4	7.2	9.4
1977	11.2	11.0	10.0	8.8	6.0	4.8	5.2	7.0	8.0	7.2	8.0	9.0
1978	6.4	9.4	6.6	9.4	8.0	3.8	6.0	5.0	8.4	3.2	6.6	7.2
1979	8.4	9.8	10.0	7.6	8.2	5.0	4.0	7.0	8.2	7.6	7.4	3.6
1980	9.4	9.4	7.4	7.6	7.2	6.8	3.2	6.8	6.8	8.8	7.6	8.8
1981	8.2	12.0	7.6	8.8	7.4	3.4	5.2	6.2	6.4	9.0	8.0	8.0
1982	7.8	8.0	10.0	6.2	7.2	6.4	4.6	6.0	7.4	9.8	8.0	10.2
1983	9.8	9.0	10.8	10.0	8.4	6.2	6.4	6.2	7.6	9.4	10.0	9.8
1984	5.4	10.2	10.0	8.2	7.4	6.6	5.2	5.0	5.0	5.4	3.8	8.8
1985	8.6	9.0	7.6	7.2	7.4	5.0	4.6	6.6	7.0	4.0	2.4	8.0
1986	8.2	6.8	6.8	8.8	6.8	3.6	3.4	5.0	6.4	5.0	0.8	3.0
1987	11.4	9.2	6.2	8.0	4.0	3.8	4.2	5.2	7.2	6.2	4.8	7.6
1988	10.2	9.4	5.4	8.4	6.6	3.2	1.2	2.2	6.6	8.0	5.8	4.2
1989	9.6	9.2	7.6	6.2	4.4	3.4	1.2	3.8	5.2	7.8	1.8	1.6
1990	4.4	7.0	6.6	9.0	3.2	5.6	1.8	3.6	6.6	8.4	8.6	3.8
1991	5.8	8.8	8.2	5.4	6.4	4.8	-1.6	2.4	2.6	7.2	4.4	5.4
1992	7.2	8.6	6.6	9.2	7.4	4.4	3.2	3.4	5.4	7.4	6.0	4.8
1993	7.0	6.8	7.4	10.2	7.0	2.4	2.2	1.4	6.8	6.4	4.2	8.8
1994	10.0	8.4	8.0	9.2	6.6	4.2	0.4	3.2	5.2	5.4	7.4	8.8
1995	5.4	6.4	7.6	6.8	4.8	5.8	5.4	4.4	5.6	6.0	7.8	4.8
1996	5.8	7.4	10.0	9.2	6.8	3.0	3.4	3.6	7.0	8.4	2.4	8.0
1997	7.4	8.2	4.8	6.8	5.0	2.6	3.2	4.6	7.4	8.6	6.8	10.8
1998	10.5	11.2	12.2	11.2	6.0	4.6	3.6	4.4	5.4	7.8	3.8	2.2
1999	8.5	10.0	9.6	6.1	6.0	6.6	1.4	3.9	6.5	6.0	5.4	6.7
2000	4.7	6.1	8.9	8.5	6.9	5.8	4.2	4.4	8.4	3.0	1.9	7.8
2001	10.4	8.0	10.1	7.2	8.1	4.6	5.3	3.5	7.1	8.4	6.7	7.4
2002	8.8	7.6	10.5	8.0	6.4	5.0	6.2	4.7	7.5	8.9	9.0	10.7
2003	8.0	6.9	6.9	8.6	7.3	5.5	3.2	4.6	5.3	7.6	7.8	8.3
2004	3.0	8.2	8.7	8.2	6.0	3.9	5.6	3.7	6.4	8.8	6.4	8.5
2005	5.1	10.7	10.0	9.8	3.4	6.0	2.7	4.5	6.0	8.2	1.2	3.7
2006	7.8	9.8	11.2	8.2	3.9	4.5	0.3	4.9	6.6	1.9	7.2	9.9
2007	11.2	4.5	9.8	8.7	6.7	3.7	3.6	3.9	5.3	5.3	9.7	4.6
2008	8.2	7.0	7.7	8.2	6.6	3.5	3.8	5.7	5.2	8.9	7.3	6.2
2009	8.5	8.9	9.1	8.5	7.0	3.3	4.4	5.7	5.6	8.3	4.1	8.7
2010	9.4	9.0	10.2	9.0	7.4	5.9	3.5	3.5	6.8	5.9	5.3	6.3
2011	6.3	6.9	5.2	8.6	4.2	5.2	2.7	3.8	5.0	2.2	8.2	8.8
2012	9.3	7.5	7.7	9.6	6.1	3.4	3.0	0.8	4.5	8.1	9.1	5.6
2013	10.0	8.3	10.9	7.1	8.2	1.5	2.8	4.7	5.5	8.2	5.3	1.2
2014	8.4	9.5	6.5	1.9	7.5	3.7	3.4	3.9	6.5	7.1	6.5	8.8
2015	7.3	7.9	10.1	9.3	6.7	5.2	3.4	3.9	6.5	8.3	6.9	8.8
2016	7.1	9.7	9.4	9.2	6.1	4.6	2.4	4.1	6.5	6.6	3.1	7.8
2017	6.5	7.9	9.3	9.2	6.5	4.8	3.1	4.3	7.4	7.2	6.0	8.0
2018	5.3	7.7	9.0	8.0	6.3	4.4	4.5	3.4	2.5	5.7	5.5	2.7
2019	6.6	9.1	8.4	8.0	6.9	4.2	3.3	1.4	4.1	6.5	6.3	9.3
2020	7.5	8.6	5.2	6.6	4.3	5.9	4.8	1.6	6.1	5.4	1.1	6.6
2021	7.5	4.0	7.1	7.7	6.3	5.4	1.6	3.1	5.9	8.8	9.0	6.9
2022	5.0	5.1	8.8	7.8	5.8	2.7	2.4	4.0	4.4	2.7	3.2	3.3
<b>Max.</b>	11.4	12.0	12.2	11.2	8.4	7.6	6.4	7.0	8.4	9.8	10.0	10.8
<b>Min.</b>	3.0	4.0	4.8	1.9	3.2	1.5	-1.6	0.8	2.5	1.9	0.8	1.2
<b>Media</b>	7.8	8.4	8.5	8.1	6.4	4.6	3.4	4.3	6.2	6.9	5.9	6.9
<b>D.E.</b>	1.98	1.63	1.73	1.46	1.27	1.28	1.59	1.44	1.28	1.94	2.38	2.51

**Anexo 29:** Precipitación total mensual de la estación San Marcos (1966 -2022).

<b>PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL - ESTACIÓN SAN MARCOS</b>												
<b>DEPARTAMENTO: CAJAMARCA</b>				<b>PROVINCIA: SAN MARCOS</b>					<b>DISTRITO: PEDRO GALVEZ</b>			
<b>LATITUD: 7° 19' 21" Sur</b>				<b>LONGITUD: 78° 10' 21" Oeste</b>					<b>ALTITUD: 2293 m.s.n.m.</b>			
<b>año</b>	<b>enero</b>	<b>febrero</b>	<b>marzo</b>	<b>abril</b>	<b>mayo</b>	<b>junio</b>	<b>julio</b>	<b>agosto</b>	<b>septiembre</b>	<b>octubre</b>	<b>noviembre</b>	<b>diciembre</b>
1975	58.3	176	194.5	116.3	28.5	14.1	14.1	11.4	54.1	65.7	31.1	14.8
1976	160.7	61.4	127.7	39.4	52.2	0	0	0	0	59.6	25.5	59.9
1977	160.6	96.2	118.4	32.6	7.2	1.9	3	2.3	40	42.5	79.8	69.2
1978	20.1	92.9	47.4	26	21.5	0	6.7	0	20.2	64.9	80.2	44.1
1979	49.9	104.2	170.3	56	39.4	0	3.8	18.4	67.4	0	57.1	44.3
1980	23.6	35.9	82.2	27.1	9.1	0	0	3.8	1.5	115.1	135.5	142.5
1981	76.7	209.1	155.4	33.7	37.5	16.6	0	10.5	12.6	73.4	150	91.8
1982	64.3	86.4	78.1	30.2	26	0.3	0	0	59.7	133.2	71	154.6
1983	134.2	21.5	161.6	100.7	37.9	0	5.6	1.9	27.8	44.2	32.6	109
1984	79.4	344.3	198.4	57.8	63.9	2	14.5	12.6	19.8	47.3	59.5	51.8
1985	46.5	30.7	115.2	17.1	19.7	0	1.3	12.9	18.1	34.1	32.6	86.3
1986	94.8	65.3	68.6	102.7	25.7	9	1.2	24.3	1.2	16	64.1	63.5
1987	92.9	74	85.1	97.8	5.6	2.7	5.2	3.8	42.5	29.1	117.5	102.4
1988	177.8	122.4	58.7	106.5	2.6	5.9	1.1	1	16.5	59.5	50.7	90.3
1989	112.9	126.3	112.6	116.1	9	2.5	0	1.3	40.9	110	41.4	1.4
1990	104.1	87	62.2	77.7	24.8	18.2	0	36.7	5.2	127.9	128	47.4
1991	46.1	106.9	115.5	73	6	3.4	0	0	7.5	60.4	37	81.2
1992	49.6	21.2	64.6	57.9	10.8	13.4	2	13.6	47.3	56.5	18	71.2
1993	86.1	164.9	204.1	113.9	10.9	0	0	0	27.5	88.1	108	105.9
1994	112.2	185	177.6	127	26.2	4.4	0	0	17.9	73	75.9	71
1995	12.2	133.7	118.8	47.7	27.1	4.8	0.9	5.2	21.9	104.1	67.3	87.4
1996	98.2	132	117.8	73.6	6.7	3.8	0	3.4	29.3	112.1	22	22.1
1997	70.1	107.6	55.2	63	10.7	15.6	0.4	0	37.2	76.2	124.2	176.5
1998	163.4	188	158	116.7	79.2	2.2	0	1.2	21.6	73.5	25.6	71.9
1999	103.6	342.3	41.9	13.1	49.7	41.1	1.1	3	94	35	75.3	94.6
2000	70.3	118	140.9	59.4	23.5	22.11	8.6	4.2	65.6	5.1	48	140.5
2001	268.9	103.4	196.7	19.2	71.3	0	0	0	17.6	110.4	99.8	108.3
2002	42.5	126.4	223.5	87	10.4	0.5	6	0	25.7	143.8	121	151.5
2003	41.9	72.9	147.5	46.7	6.2	6.7	3	3.5	15.3	68.1	113.1	123
2004	61.6	63.5	46.6	80.4	19.6	3.2	2	1.6	24.4	70.1	138.1	176
2005	98.6	92	148.4	86.5	2.3	0.7	0	6.6	35.5	133	28.8	175.4
2006	105.8	91.1	261.2	92.1	5.4	25.9	2.2	4.4	59.6	49.2	90.9	181.4
2007	89.8	43.7	214.3	118.9	26.5	0	7.7	4	27.3	126.1	110.3	80.6
2008	134.7	184.9	91.6	80.2	19.5	18.5	2.8	4.9	24.5	147.1	93.2	78
2009	188.2	129.7	136.7	147.3	46.4	2.7	1.2	0	6	99.5	130.3	99.1
2010	43.9	95.9	160.3	64.7	30.7	4.7	10.6	0	20.5	31.5	52.8	95.5
2011	92.7	99.1	164.7	0	9.7	0	6.1	0	43.7	32.1	53.6	126.2
2012	250.1	119.3	79.9	96.9	40.3	9	0	2.8	12.5	95	167.5	80.3
2013	62.8	77	283.3	114.4	65.4	0.5	13.8	26.6	9.3	118.9	37.5	116.8
2014	60.6	183.6	118.5	112.4	95.5	5.5	0	0	33.2	68.6	80.8	107.9
2015	150.2	62.4	216.3	69.4	78.4	1.1	2.2	0.1	15.3	20.2	121.4	55.2
2016	95.5	99.6	86.8	66.2	6.1	1.2	1.2	0.7	25.4	70.3	18.9	105.3
2017	102.3	47.1	166	99.2	25.3	9	0	8.1	36.5	138.1	48.2	158.3
2018	99.7	114.7	104.2	62.3	81.9	0.3	0	0	22.9	33.1	123.3	66.5
2019	0.4	84.9	320.2	39.7	0	0	0	0	0	22	64.3	153.1
2020	29.4	29	38.6	1.7	0	0	7.4	0	0	0	0.5	120.3
2021	121.4	13.9	101.5	8	8.5	2.6	0	0	0.1	31.2	92.4	84.7
2022	58	117.8	198	61.8	0.1	0.8	0	0	0.6	2.2	0	11.2
<b>Max.</b>	268.9	344.3	320.2	147.3	95.5	41.1	14.5	36.7	94.0	147.1	167.5	181.4
<b>Min.</b>	0.4	13.9	38.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
<b>Media</b>	93.1	110.1	136.2	69.5	27.3	5.8	2.8	4.9	26.1	69.1	73.8	94.8
<b>D.E.</b>	55.4	67.5	64.7	36.7	24.6	8.3	4.0	7.8	20.3	41.4	42.0	44.3

**Anexo 30:** Porcentaje de humedad mensual de la estación San Marcos (2018 - 2022).

<b>HUMEDAD MENSUAL (%) - ESTACIÓN SAN MARCOS</b>												
<b>DEPARTAMENTO:</b> CAJAMARCA				<b>PROVINCIA:</b> SAN MARCOS					<b>DISTRITO:</b> PEDRO GALVEZ			
<b>LATITUD:</b> 7° 19' 21" Sur				<b>LONGITUD:</b> 78° 10' 21" Oeste					<b>ALTITUD:</b> 2293 m.s.n.m.			
año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	novi.	diciembre
2018	74.96	72.61	80.09	78.27	71.06	65.89	64.60	57.11	58.21	69.67	77.18	71.88
2019	70.02	78.88	82.70	81.92	68.80	63.54	63.99	55.45	60.93	72.15	73.67	81.69
2020	70.99	74.31	73.52	72.40	68.95	63.55	67.17	57.04	59.34	56.17	62.16	79.16
2021	78.70	68.95	81.43	76.37	73.17	71.42	62.48	60.64	59.20	73.44	78.63	76.06
2022	71.18	80.43	80.82	77.30	71.98	70.17	61.63	60.24	63.48	67.27	55.25	68.26
Max.	78.7	80.4	82.7	81.9	73.2	71.4	67.2	60.6	63.5	73.4	78.6	81.7
Min.	70.0	69.0	73.5	72.4	68.8	63.5	61.6	55.5	58.2	56.2	55.2	68.3
Media	73.2	75.0	79.7	77.2	70.8	66.9	64.0	58.1	60.2	67.7	69.4	75.4
D.E.	3.24	4.18	3.21	3.07	1.70	3.31	1.91	2.01	1.84	6.16	9.13	4.85

Los siguientes anexos (del 37 al 45) están ordenados de la siguiente manera.

**Anexo 31:** Demanda de agua en un caso hipotético si es que el riego fuera por aspersión en los caseríos de El Alizal, Chuquiamo, Marcopampa y captación trabajando al 95% de eficiencia.

Demanda de agua y eficiencia en caso hipotético de todo el sistema de riego del canal de riego San Marcos - II Chuqueando (221.62 ha)						
Partes del sistema de riego	Efic.	Eficiencias %	eficiencia desde captación hasta la aplicación	Caudal (m3/año) demandado a la entrada de cada tramo del sistema	Pérdidas en las diferentes partes del sistema (m3/año)	Partes del sistema donde se requiere el caudal anual calculado
Captación	0.950	95.000	95.000	2585922.23	254511.78	caudal anual disponible a ser captado
Conducción	0.902	90.158	85.650	2331410.46	229462.20	caudal anual en la conducción
Distribución	0.831	83.053	71.135	2101948.25	356213.09	caudal anual en la distribución
Aplicación	0.806	80.612	57.344	1745735.16	338457.31	caudal anual en la aplicación
Cultivo	extraído y sumado de cada cédula de cultivo			1407277.85	-	caudal consumido anual neto del cultivo
Sistema de riego	0.573	57.344	57.344	2585922.23	1178644.38	caudal anual para el sistema de riego

**Anexo 32:** Informe del laboratorio (INIA) del análisis de suelos e interpretaciones de resultados de análisis.

**Anexo 33:** Levantamiento topográfico de la captación del sistema de riego.

**Anexo 34:** Levantamiento topográfico del terreno de cultivo de muestra en el caserío Limapampa.

**Anexo 35:** Levantamiento topográfico del terreno de cultivo de muestra en el caserío El Alizal.

**Anexo 36:** Levantamiento topográfico del terreno de cultivo de muestra en el caserío Chuquiamo.

**Anexo 37:** Levantamiento topográfico del terreno de cultivo de muestra en el caserío Chuquiamo con sistema de riego por aspersión.

**Anexo 38:** Levantamiento topográfico del terreno de cultivo de muestra en el caserío Marcopampa.

**Anexo 39:** Límites regionales, provinciales, distritales y ubicación política del sistema de riego de los caseríos Limapampa, El Alizal, Chuquiamo y Marcopampa.

**Anexo 40:** Plano de la captación del canal de riego San Marcos II - Chuquiamo.

**Anexo 41:** Plano de detalles y secciones típicas del canal de riego.

**Anexo 42:** Croquis del sistema de riego del canal San Marcos II - Chuquiamo.

**INFORME DE ENSAYO**  
N° 08606-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

**I. INFORMACIÓN GENERAL**

Cliente : DANTE JULIHNIO QUIROS ENCO  
 Propietario / Productor : DANTE JULIHNIO QUIROS ENCO  
 Dirección del cliente : PSJ. EL IMPERIO N° 307 - CAJAMARCA  
 Solicitado por : Cliente  
 Muestreado por : Cliente  
 Número de muestra(s) : 05 muestras  
 Producto declarado : Suelo Agrícola  
 Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico oscura  
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente  
 Procedencia de muestra(s) : PEDRO GALVEZ / SAN MARCOS / CAJAMARCA  
 Fecha(s) de muestreo : 15/08/2023  
 Fecha de recepción de muestra(s) : 16/08/2023  
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarens - LABSAF Baños del Inca  
 Fecha(s) de análisis : 17/08/2023  
 Cotización del servicio : 271-23-BI  
 Fecha de emisión : 31/08/2023

**II. RESULTADO DE ANÁLISIS**

ITEM	1	2	3	4	5	6	
<b>Código de Laboratorio</b>	<b>SU757-BI-23</b>	<b>SU758-BI-23</b>	<b>SU759-BI-23</b>	<b>SU760-BI-23</b>	<b>SU761-BI-23</b>		
<b>Matriz Analizada</b>	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
<b>Fecha de Muestreo</b>	: 15/08/2023	: 15/08/2023	: 15/08/2023	: 15/08/2023	: 15/08/2023		
<b>Hora de Inicio de Muestreo (h)</b>	15:48	18:08	07:20	08:50	09:30		
<b>Condición de la muestra</b>	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
<b>Código/Identificación de la Muestra por el Cliente</b>	Limapampa	El Alizal	Marcopampa	Chuquiamo (asp)	Chuquiamo		
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>LC</b>	<b>Resultados</b>				
<b>pH</b>	unid. pH	0,1	<b>7,6</b>	<b>7,7</b>	<b>8,0</b>	<b>8,0</b>	<b>7,9</b>
<b>Acidez intercambiable (**)</b>	(Cmol/Kg)	--	--	--	--	--	--
<b>Aluminio (**)</b>	(Cmol/Kg)	--	--	--	--	--	--
<b>Carbonatos(**)</b>	%	--	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>1,0</b>	<b>12,8</b>	<b>0,9</b>
<b>Materia Orgánica</b>	%	0,1	<b>4,7</b>	<b>5,2</b>	<b>2,2</b>	<b>4,5</b>	<b>2,4</b>
<b>Fósforo (**)</b>	ppm	--	<b>4,2</b>	<b>30,2</b>	<b>20,2</b>	<b>7,1</b>	<b>15,55</b>
<b>Potasio (**)</b>	ppm	--	<b>127,6</b>	<b>96,0</b>	<b>119,1</b>	<b>170,1</b>	<b>93,6</b>
<b>Conductividad Eléctrica</b>	mS/m	0,01	<b>7,5</b>	<b>10,4</b>	<b>7,7</b>	<b>11,9</b>	<b>6,9</b>
<b>Análisis de Textura</b>							
<b>Arena (**)</b>	%	--	<b>40</b>	<b>68</b>	<b>64</b>	<b>30</b>	<b>70</b>
<b>Limo (**)</b>	%	--	<b>34</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>38</b>	<b>18</b>
<b>Arcilla (**)</b>	%	--	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>32</b>	<b>12</b>
<b>Clase Textural (**)</b>	---	--	<b>Franco Arcilloso</b>	<b>Franco Arenoso</b>	<b>Franco Arenoso</b>	<b>Franco Arcilloso</b>	<b>Franco Arenoso</b>
<b>Parametros hídricos</b>							
<b>Capacidad de campo (**)</b>	%	--	<b>23,82</b>	<b>13,57</b>	<b>15,41</b>	<b>26,50</b>	<b>14,58</b>
<b>Punto de marchitez (**)</b>	%	--	<b>13,35</b>	<b>6,90</b>	<b>8,06</b>	<b>15,03</b>	<b>7,54</b>
<b>Agua disponible (**)</b>	%	--	<b>10,47</b>	<b>6,66</b>	<b>7,35</b>	<b>11,46</b>	<b>7,04</b>
<b>Densidad aparente (**)</b>	g/ml	--	<b>1,33</b>	<b>1,48</b>	<b>1,46</b>	<b>1,28</b>	<b>1,48</b>

## INFORME DE ENSAYO

### N° 08606-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

#### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265, First Edition. 1994. Soil Quality. Determination of the Specific Electrical Conductivity
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.9 AS-09.2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Acidez intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECENAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.29 AS-33.2000. Determinación de la Acidez y Aluminio Intercambiable
Carbonatos	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECENAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.25 AS-29.2000. Determinación de Carbonatos de Calcio
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Organica por el método de Walkley y Black.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECENAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.12 AS-12. 2000. Determinación de Potasio (Validado)
Potasio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Organica por el método de Kjeldahl

#### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C

(\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

(\*\*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

(\*\*\*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

#### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: M. Sc.. Marieta Cervantes Peralta - Responsable del laboratorio del LABSAF Baños del Inca.

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Firmado digitalmente por:  
CABRERA HOYOS Hector  
Antonio FAU 20131365994 soft  
Motivo: Doy V° B°  
Fecha: 01/09/2023 10:14:02-0500

## INTERPRETACIONES DE RESULTADOS DE ANALISIS

### CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN VALOR DE PH

pH	Evaluación	Efectos
< 5.0	Fuertemente ácido	Condiciones muy desfavorables.
5.1 - 6.5	Moderadamente ácido	Deficiente asimilación de algunos elementos
6,6 - 7,3	Neutro	Efectos tóxicos mínimos
7.4 - 8.5	Medianamente alcalino	Existencia de carbonato cálcico. Deficiente asimilación de algunos nutrientes
> 8.5	Alcalino	Presencia de carbonato sódico. Poca asimilación de algunos nutrientes

### CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL VALOR DE LA CONDUCTIVIDAD (CE)

CLASIFICACION	CE (mS/m)	Efectos
Normal	<100	Efecto despreciable de la salinidad. No existe restricción para ningún cultivo, aunque algunos cultivos muy sensibles pueden ser afectados en sus rendimientos.
Muy Ligeramente salino	110 – 200	Los rendimientos de cultivos sensibles pueden verse afectados en sus rendimientos.
Moderadamente salino	210 – 400	Los rendimientos de cultivos pueden verse afectados en sus rendimientos.
Suelo salino	410 - 800	El rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad.
Fuertemente salino	810 - 160	Solo lo cultivos muy resistentes a la salinidad pueden crecer en estos suelos.
<b>Muy fuertemente salino</b>	<b>&gt; 160</b>	Prácticamente ningún cultivo convencional puede crecer económicamente en estos suelos.

Nota: 1 dS/m = 100 mS/m

### MATERIA ORGANICA

Clasificación	%MO
Muy Bajo	<0.5
Bajo	0.6 - 1.5
Medio	1.6 – 3.5
Alto	3.6 - 6.0
Muy Alto	> 6.0

### FÓSFORO

Clasificación	mg/kg de P
Bajo	<5.5
Medio	6.5 - 11
Alto	>11

### CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

Clasificación	CIC (Cmol/Kg suelo)	Efectos
Muy Bajo	< 5.0	Suelo muy pobre
Bajo	5.0 - 15	Suelo pobre
Medio	15 - 25	Suelo medio
Alto	25 - 40	Suelo rico
Muy Alto	> 40	Suelo muy rico

Nota: 1 Cmol/Kg = meq/100 g

### CATIONES INTERCAMBIABLES (Ca, Mg, K Cmol/kg)

Clase	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Potasio (K)
Muy Baja	<2.0	<0.5	<0.2
Baja	2.0 - 5.0	0.5 - 1.3	0.2 - 0.3
Media	5.0 - 10	1.3 - 3.0	0.3 - 0.6
Alta	>10	>3.0	>0.6

Nota: 1 Cmol/Kg = meq/100 g

### SATURACIÓN DE BASES CAMBIABLES

Calificativo	Saturación de Bases (%)	Efectos
Bajo	< 35	Suelo muy ácido. Aconsejable una enmienda caliza.
Medio	35 – 80	Suelo medio. Su riqueza dependerá de la CIC.
Alto	> 80	Suelo neutro a alcalino. Suelo saturado de bases.

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002)

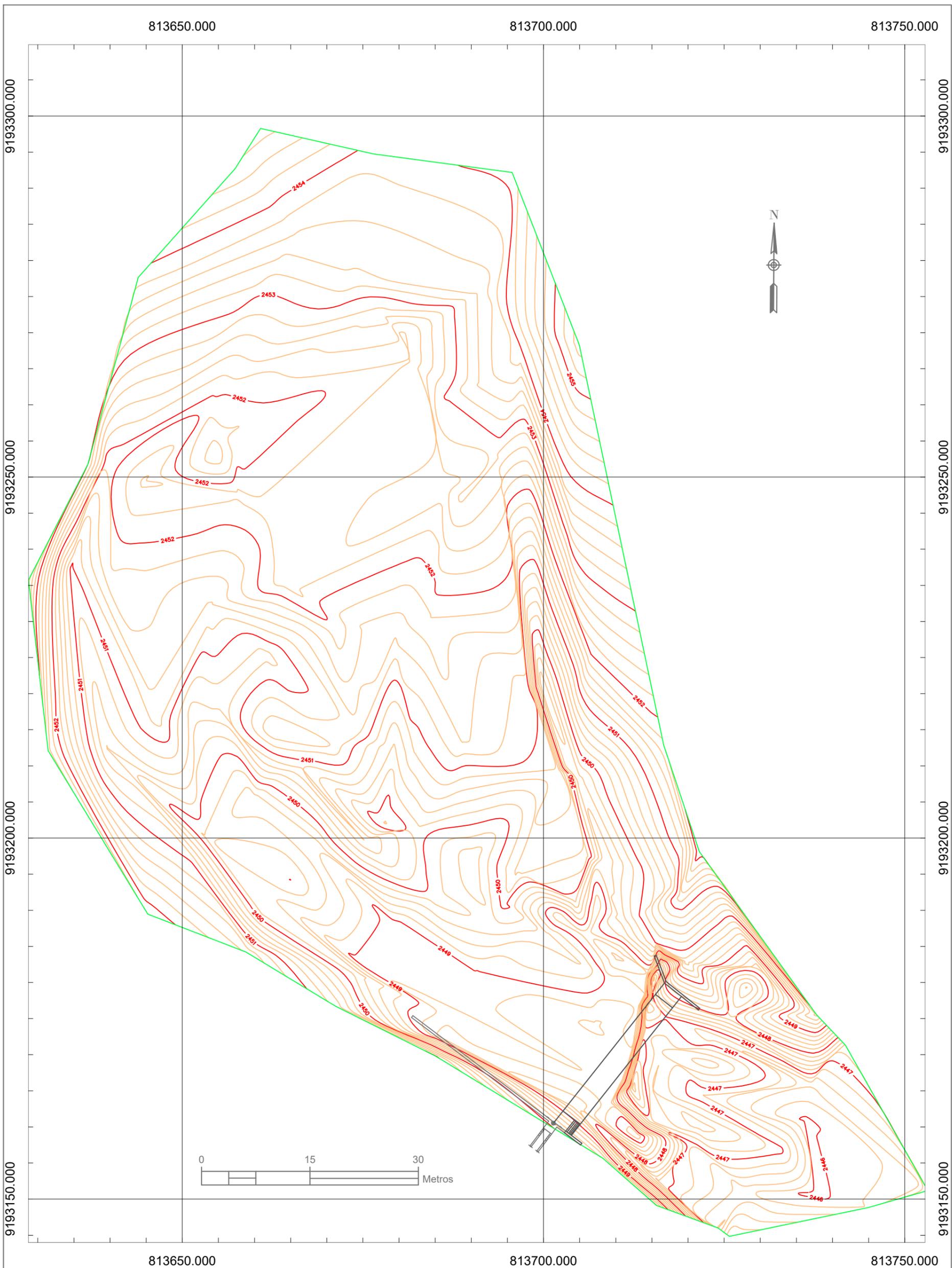


Firmado digitalmente por:  
 CABRERA HOYOS Hector  
 Antonio FAU 20131365994 soft  
 Motiv: Doy Vº Bº  
 Fecha: 01/09/2023 10:14:12-0500

**RECOMENDACIONES**

Código de Muestra	Cultivo a Instalar	Cantidades de Nutriente Kg/Ha			Cantidades en Tn/Ha	
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CAL	ESTIERCOL
SU757-BI-23	<i>RYE GRASS+TREBOL</i>	45	100	70	--	1,50
SU758-BI-23	<i>RYE GRASS+TREBOL</i>	40	70	70	--	1,00
SU759-BI-23	<i>RYE GRASS+TREBOL</i>	70	85	70	--	5,00
SU760-BI-23	<i>RYE GRASS+TREBOL</i>	45	95	60	--	--
SU761-BI-23	<i>RYE GRASS+TREBOL</i>	70	85	70	--	5,00
SU757-BI-23	<i>PAPA</i>	120	150	130	--	1,50
SU758-BI-23	<i>PAPA</i>	115	80	130	--	1,00
SU759-BI-23	<i>PAPA</i>	160	120	130	--	5,00
SU760-BI-23	<i>PAPA</i>	120	140	120	--	--
SU761-BI-23	<i>PAPA</i>	160	120	130	--	5,00
SU757-BI-23	<i>MAIZ</i>	100	70	60	--	1,50
SU758-BI-23	<i>MAIZ</i>	95	35	60	--	1,00
SU759-BI-23	<i>MAIZ</i>	120	55	60	--	5,00
SU760-BI-23	<i>MAIZ</i>	100	65	55	--	--
SU761-BI-23	<i>MAIZ</i>	120	55	60	--	5,00

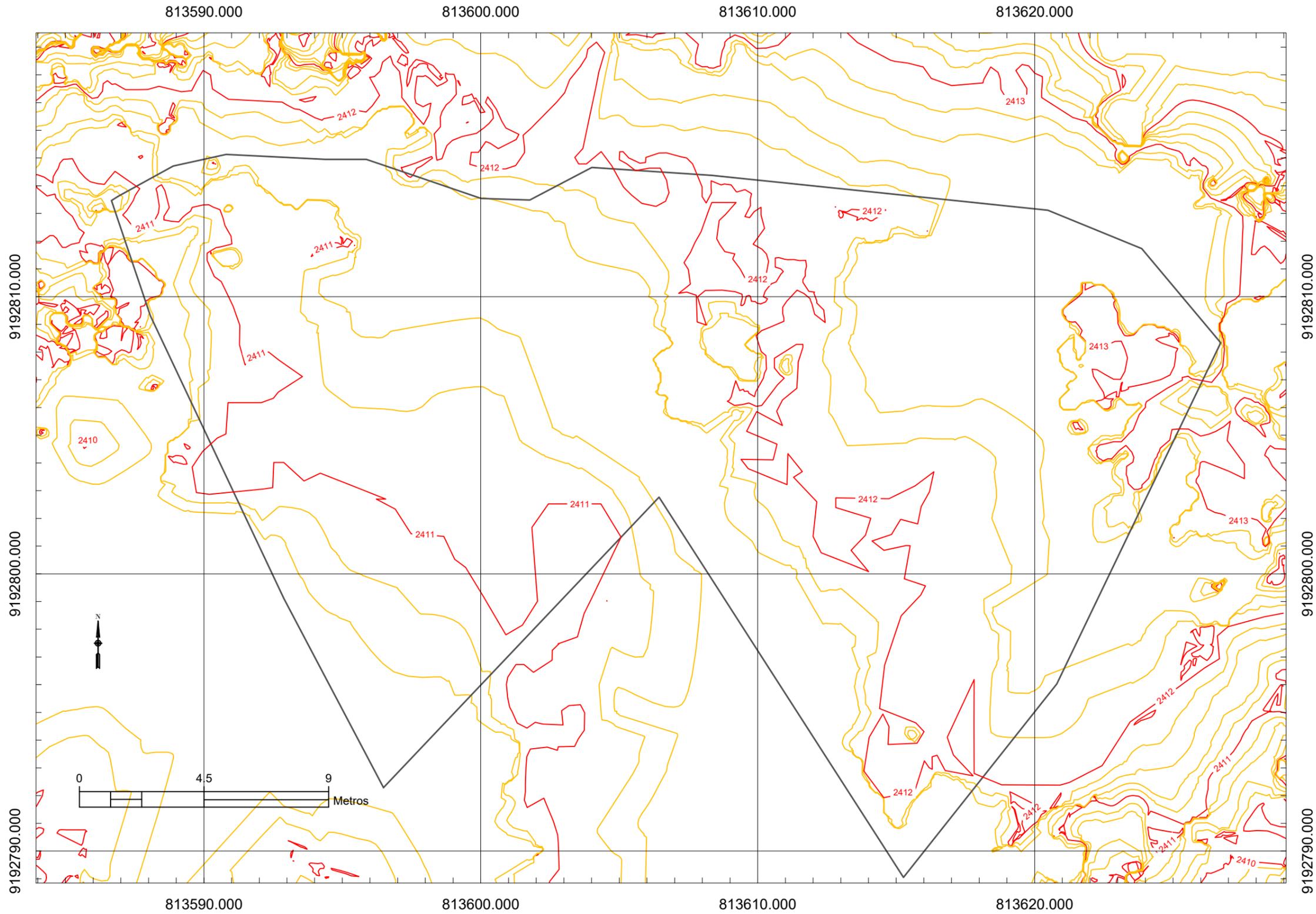




LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCION
	NORTE MAGNETICO
	CURVAS DE NIVEL MAESTRAS
	CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS
	CONTORNO DEL LEVANTAMIENTO
	ESTRUCTURAS

DATOS CAPTACIÓN	
ANCHO RÍO	27.30 m
PENDIENTE	4.41 %

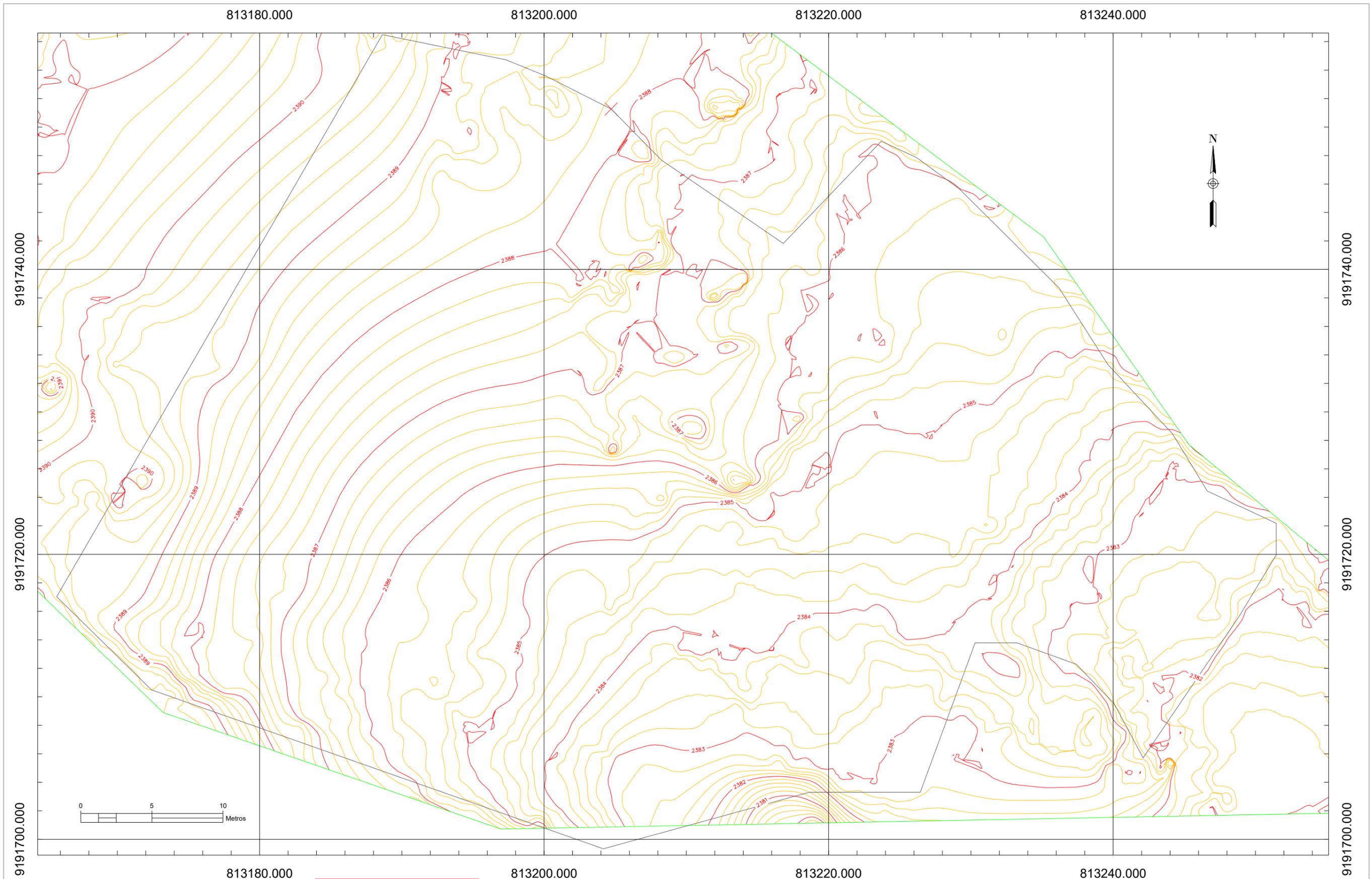
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	
FACULTAD DE INGENIERÍA - ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA	
PLANO:	PLANO TOPOGRAFICO-CAPTACIÓN
Fecha de aforo:	C/18/10/2023
Escala:	1:500
ASESOR:	Ing° Francisco HUAMÁN VIDAURRE
TESISTA:	QUIROS ENCO, Dante Julihnio
	PLANO PT-01



LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCION
	NORTE MAGNÉTICO
	CURVAS DE NIVEL MAESTRAS
	CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS
	CONTORNO DEL LEVANTAMIENTO
	TERRENO DE CULTIVO

DATOS DEL TERRENO	
CULTIVO	Alfalfa
ÁREA	618.938 m <sup>2</sup>
PERÍMETRO	119.574 m
PENDIENTE	6.566 %

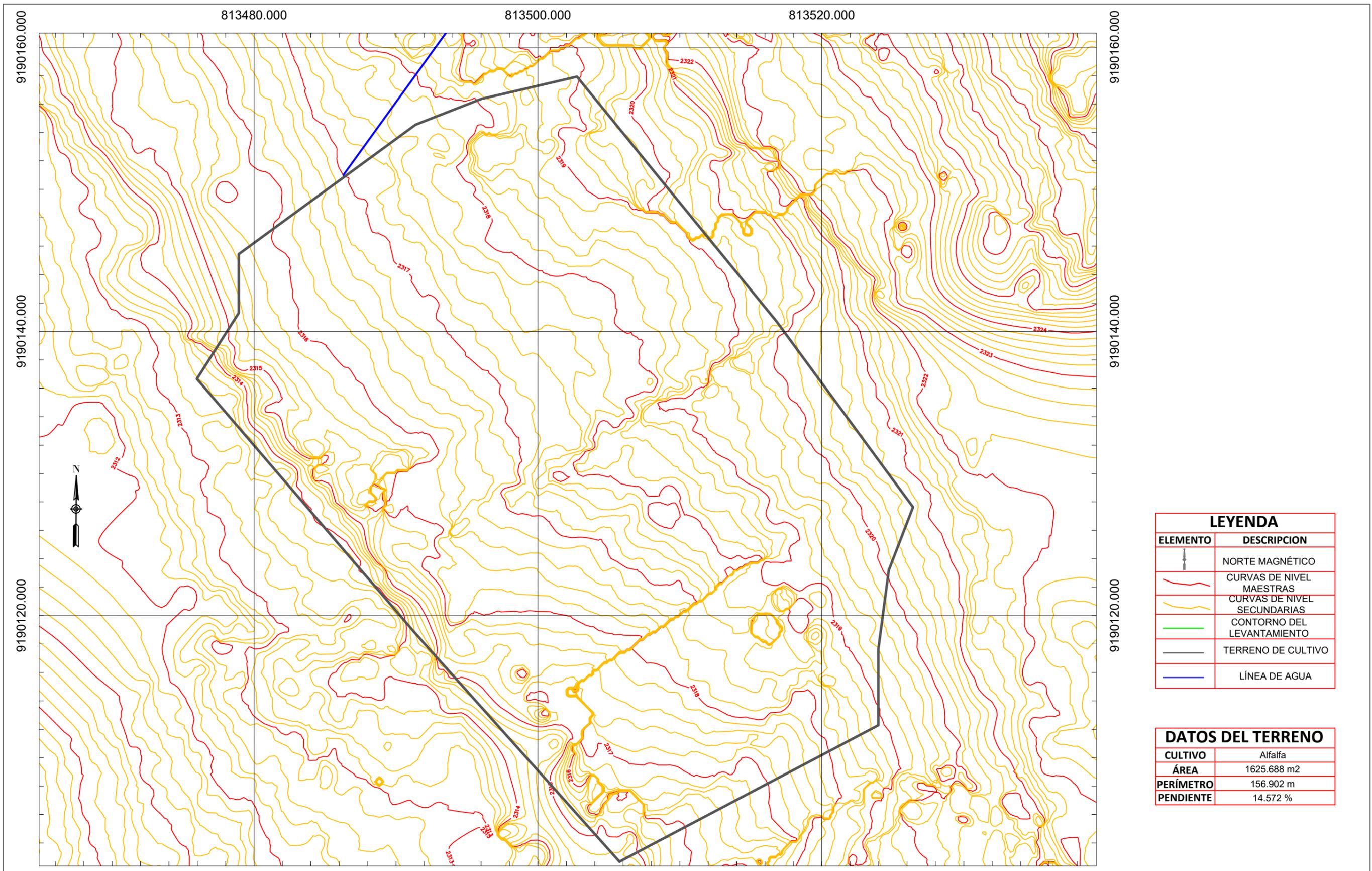
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	
FACULTAD DE INGENIERÍA – ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA	
PLANO: PLANO DEL TERRENO DE CULTIVO – LIMAPAMPA	Fecha : c/29/08/2023
	Escala 1:150
ASESOR: Ing° Francisco HUAMÁN VIDAURRE	
TESISTA: QUIROS ENCO, Dante Julihnio	
	PLANO PT-02



LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCION
	NORTE MAGNÉTICO
	CURVAS DE NIVEL MAESTRAS
	CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS
	CONTORNO DEL LEVANTAMIENTO
	TERRENO DE CULTIVO

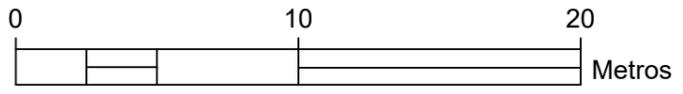
DATOS DEL TERRENO	
CULTIVO	Alfalfa
ÁREA	3001.820 m <sup>2</sup>
PERÍMETRO	239.160 m
PENDIENTE	15.32 %

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	
FACULTAD DE INGENIERIA - ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA HIDRÁULICA	
PLANO:	PLANO DEL TERRENO DE CULTIVO - EL ALIZAL
Fecha:	c/29/08/2023
Asesor:	Ing. Francisco HUAMÁN VIDAURRE
Tesista:	QUIROS ENCO, Dante Julihnio
PLANO	PT - 03



LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCION
	NORTE MAGNÉTICO
	CURVAS DE NIVEL MAESTRAS
	CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS
	CONTORNO DEL LEVANTAMIENTO
	TERRENO DE CULTIVO
	LÍNEA DE AGUA

DATOS DEL TERRENO	
CULTIVO	Alfalfa
ÁREA	1625.688 m <sup>2</sup>
PERÍMETRO	156.902 m
PENDIENTE	14.572 %



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	
FACULTAD DE INGENIERÍA – ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA	
PLANO: PLANO DEL TERRENO DE CULTIVO – CHUQUIAMO (ASPERSIÓN)	Fecha : c/29/08/2023
	Escala 1:250
ASESOR: Ing° Francisco HUAMÁN VIDAURRE	
TESISTA: QUIROS ENCO, Dante Julihnio	
	PLANO PT – 04

813780.000

813800.000

813820.000

9189500.000

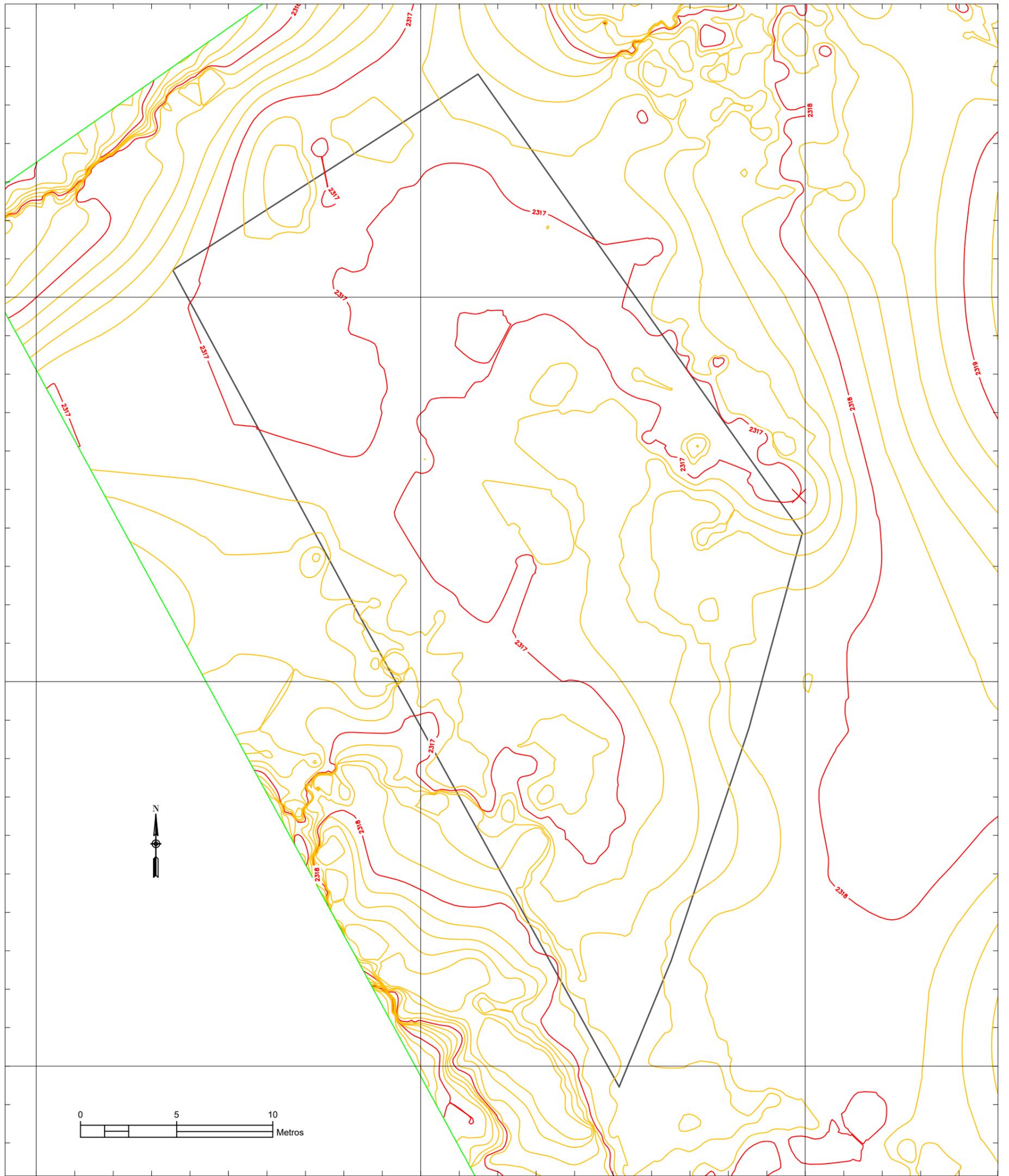
9189500.000

9189480.000

9189480.000

9189460.000

9189460.000

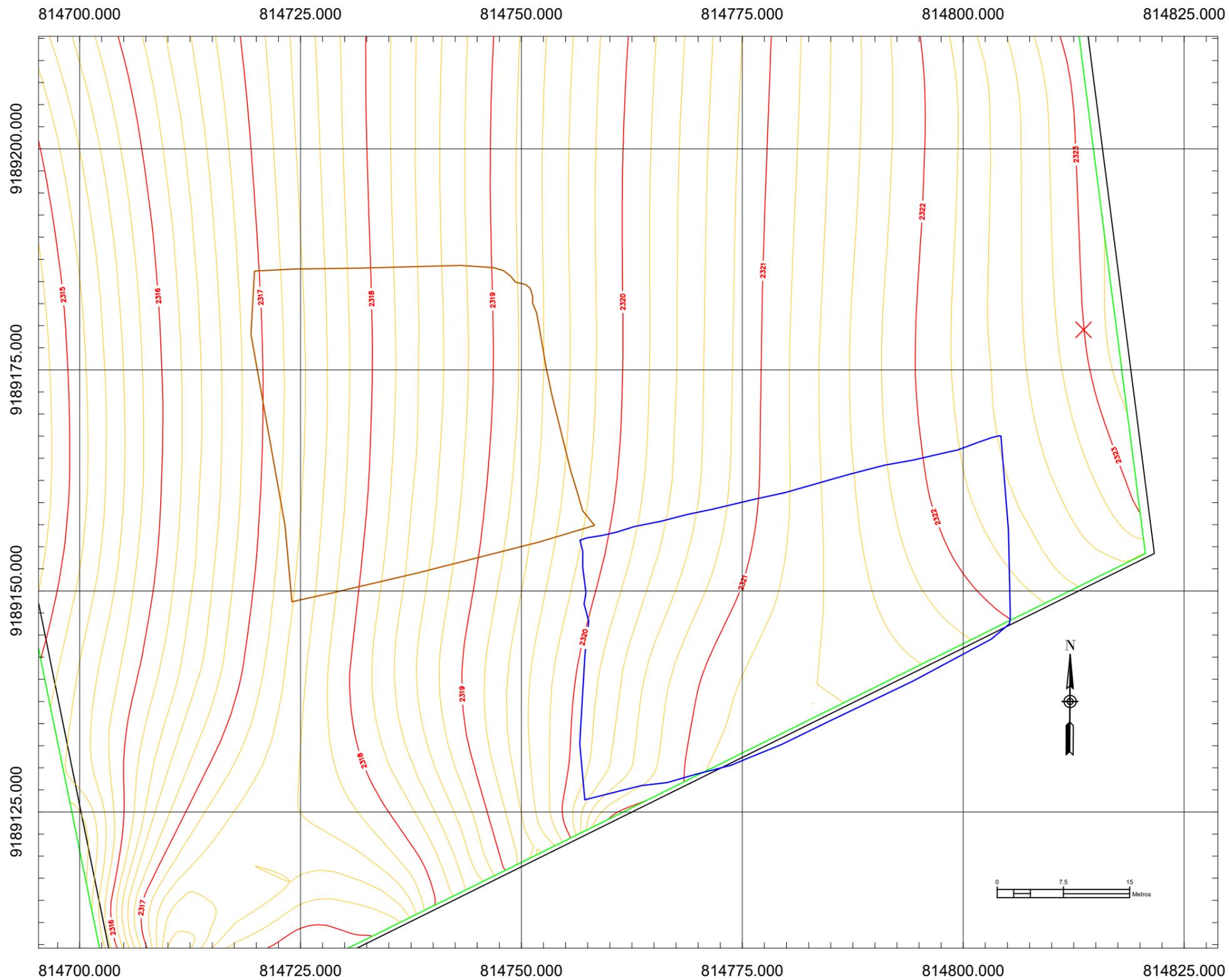


LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCION
	NORTE MAGNÉTICO
	CURVAS DE NIVEL MAESTRAS
	CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS
	CONTORNO DEL LEVANTAMIENTO
	TERRENO DE CULTIVO

DATOS DEL TERRENO	
CULTIVO	Alfalfa
ÁREA	826.229 m <sup>2</sup>
PERÍMETRO	126.891 m
PENDIENTE	2.53 %

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	
FACULTAD DE INGENIERÍA - ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA	
PLANO: PLANO DEL TERRENO DE CULTIVO - CHUQUIAMO	Fecha : c/29/08/2023
ASESOR: Ing° Francisco HUAMÁN VIDAURRE	Escala 1:200
TESISTA: QUIROS ENCO, Dante Julihnio	PLANO PT-05



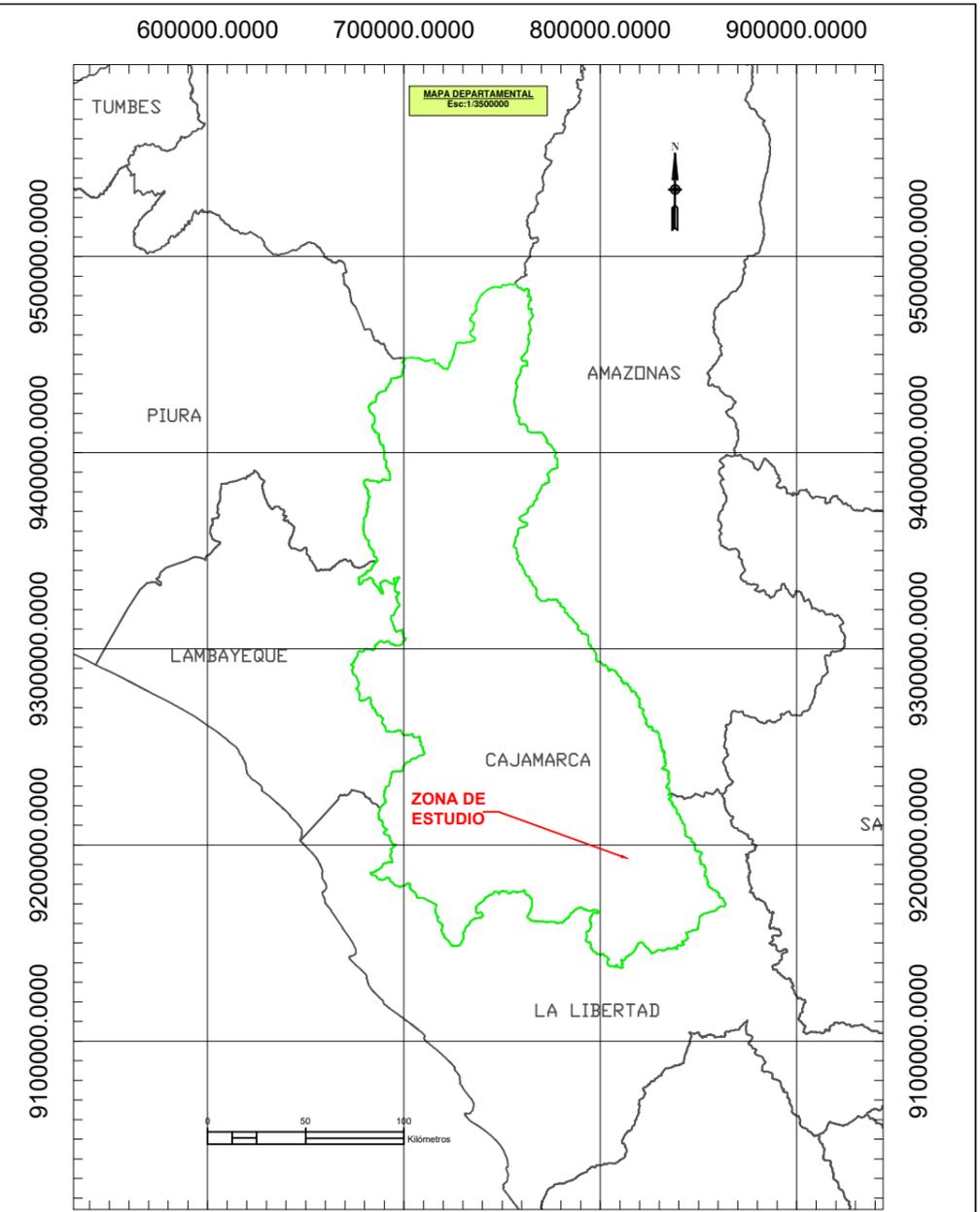
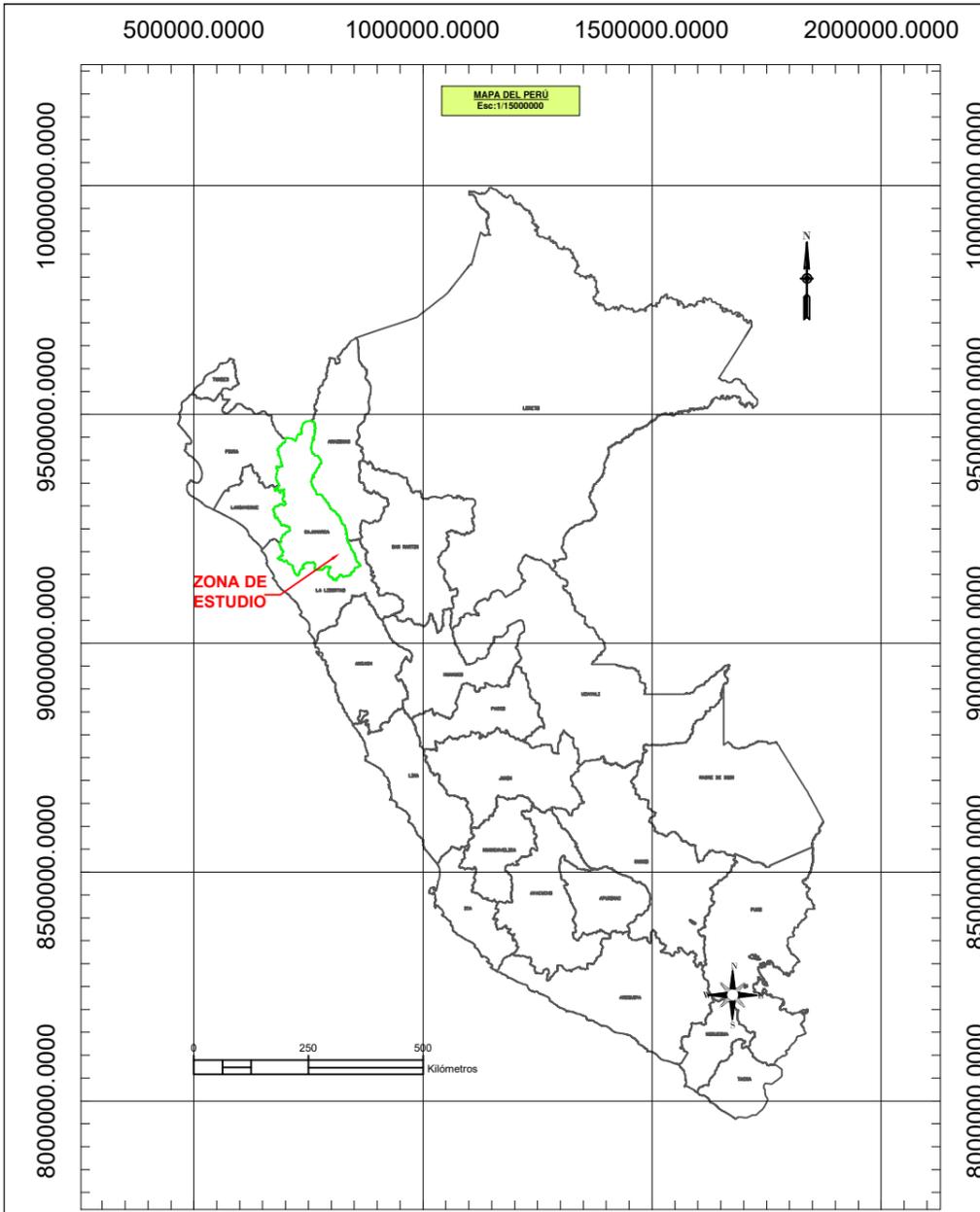


LEYENDA	
ELEMENTO	DESCRIPCION
	NORTE MAGNÉTICO
	CURVAS DE NIVEL MAESTRAS
	CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS
	CONTORNO DEL LEVANTAMIENTO
	TERRENO DE CULTIVO

DATOS DEL TERRENO 1	
CULTIVO	Papa
ÁREA	1111.936 m <sup>2</sup>
PERÍMETRO	133.119 m
PENDIENTE	6.75 %

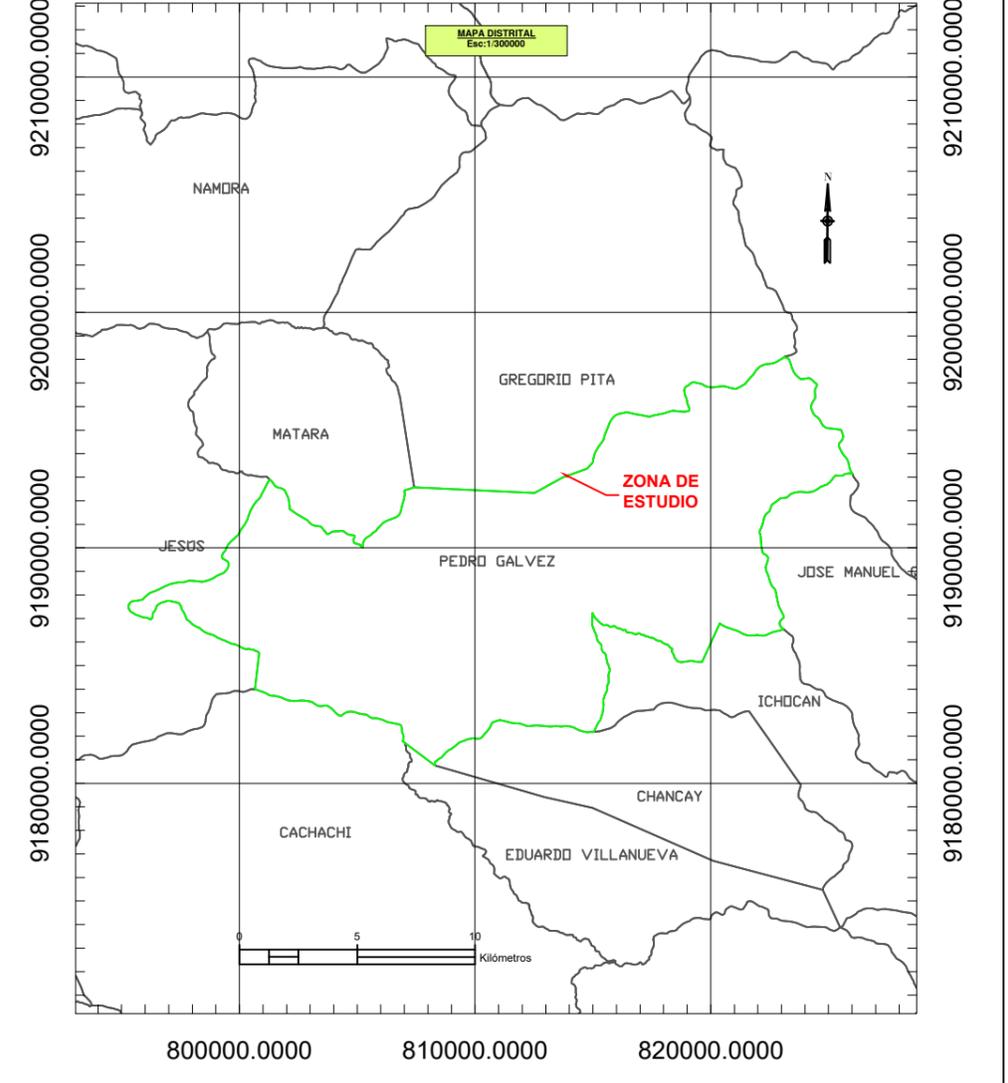
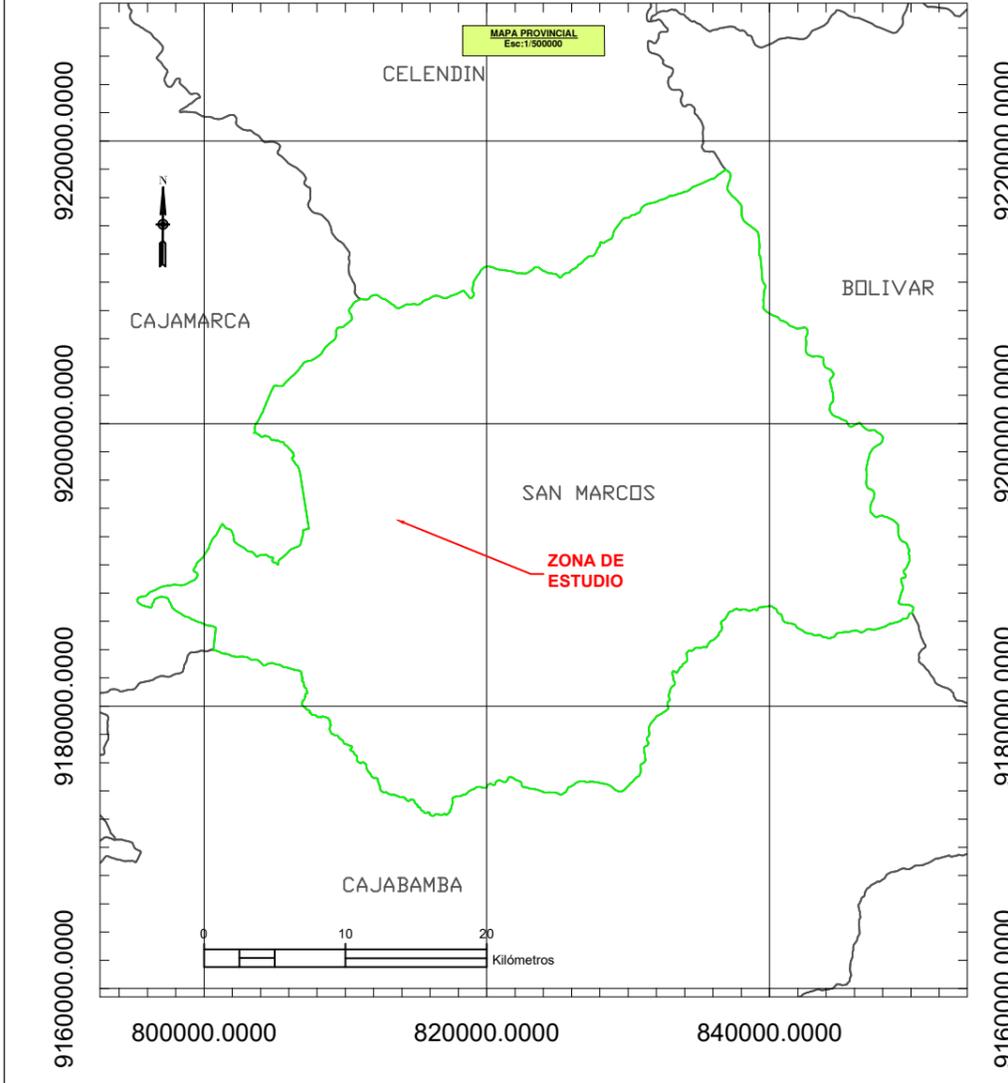
DATOS DEL TERRENO 2	
CULTIVO	Alfalfa
ÁREA	1306.777 m <sup>2</sup>
PERÍMETRO	152.446 m
PENDIENTE	6.75 %

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	
FACULTAD DE INGENIERÍA – ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA	
PLANO: PLANO DEL TERRENO DE CULTIVO – MARCOPAMPA	Fecha : c/29/08/2023
	Escala 1:500
ASESOR: Ing. Francisco HUAMÁN VIDAURRE	
TESISTA: QUIROS ENCO, Dante Julihnio	
	PLANO PT – 06



500000.000 1000000.000 1500000.000 2000000.000  
8000000.000 8200000.000 8400000.000

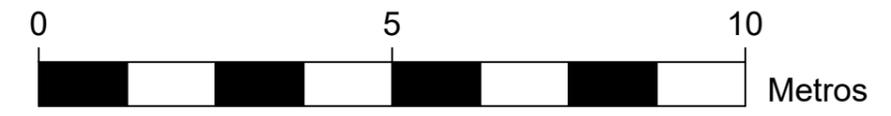
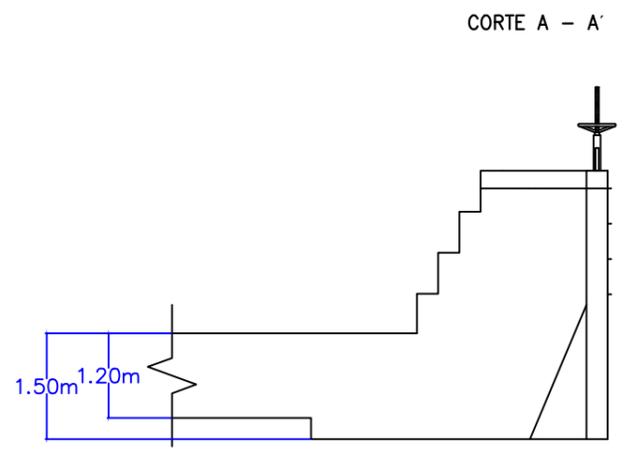
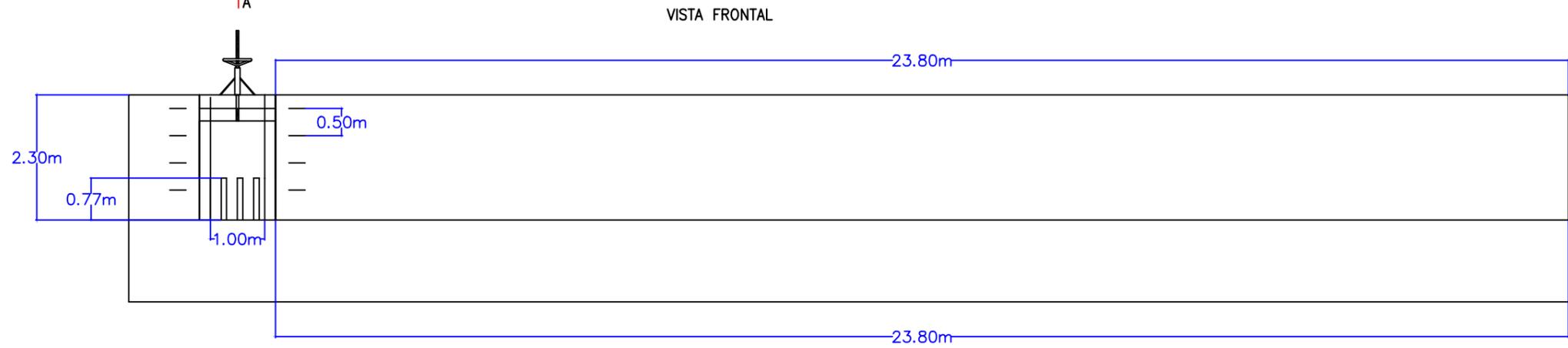
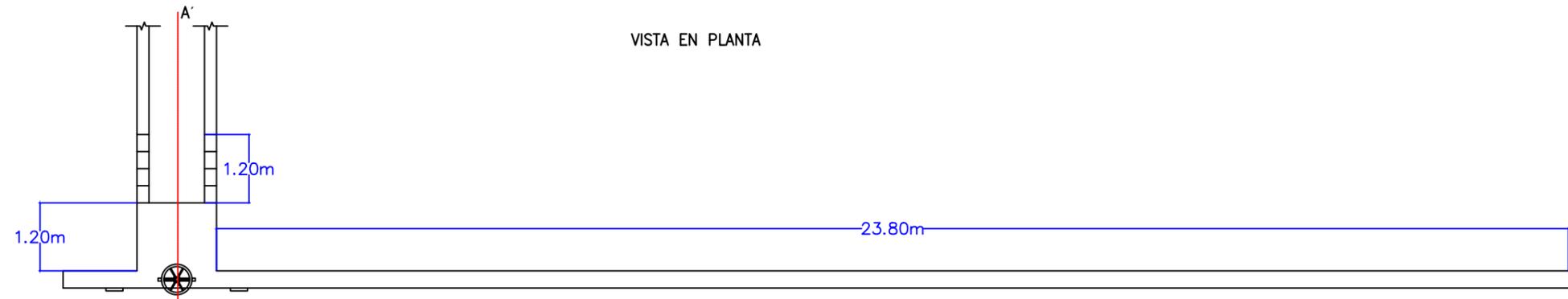
600000.000 700000.000 800000.000 900000.000  
800000.000 810000.000 820000.000



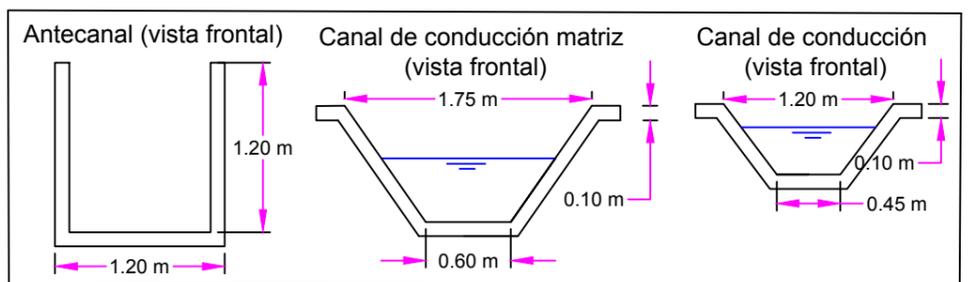
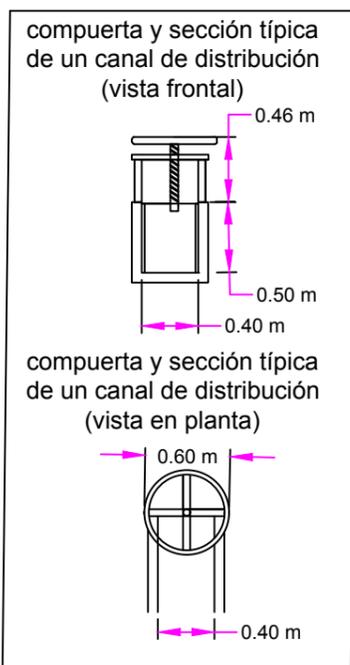
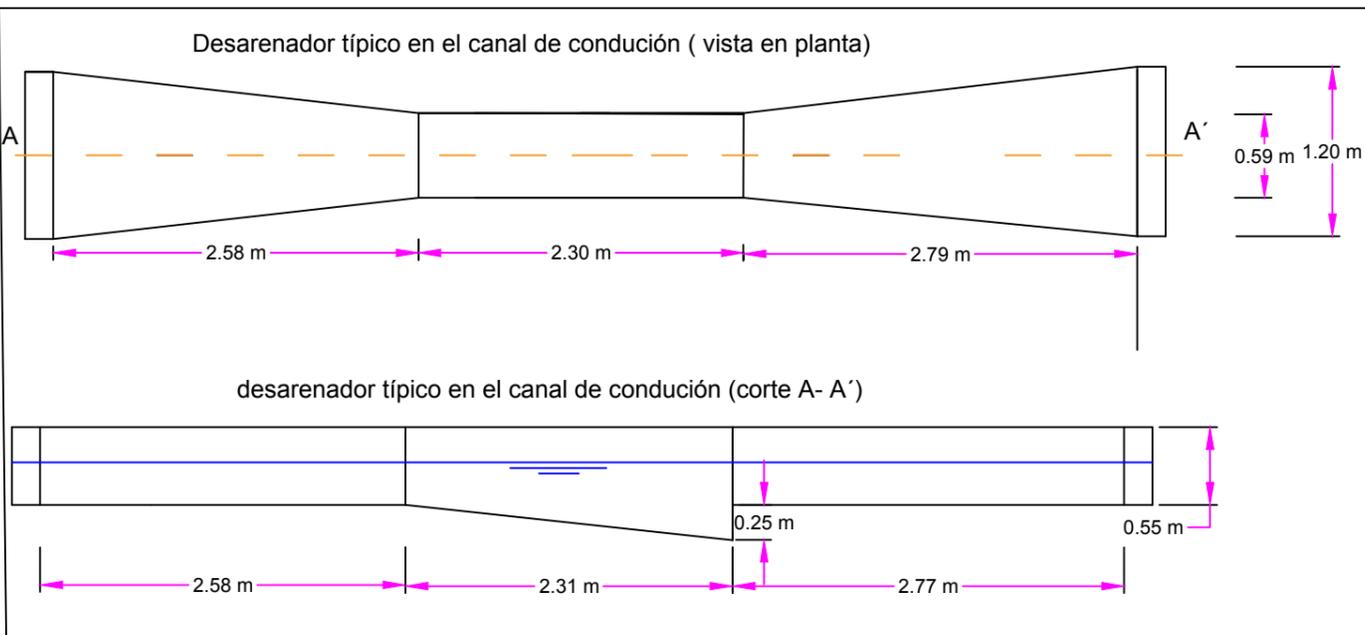
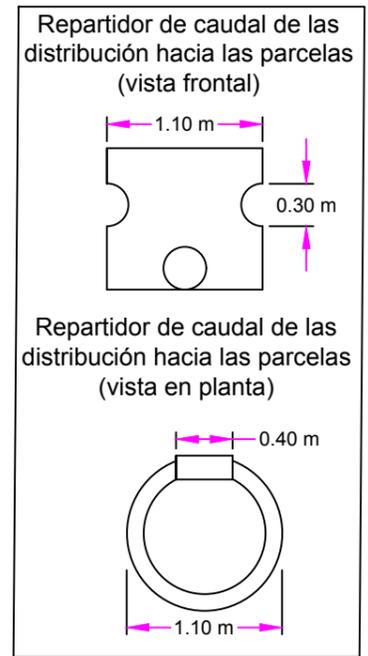
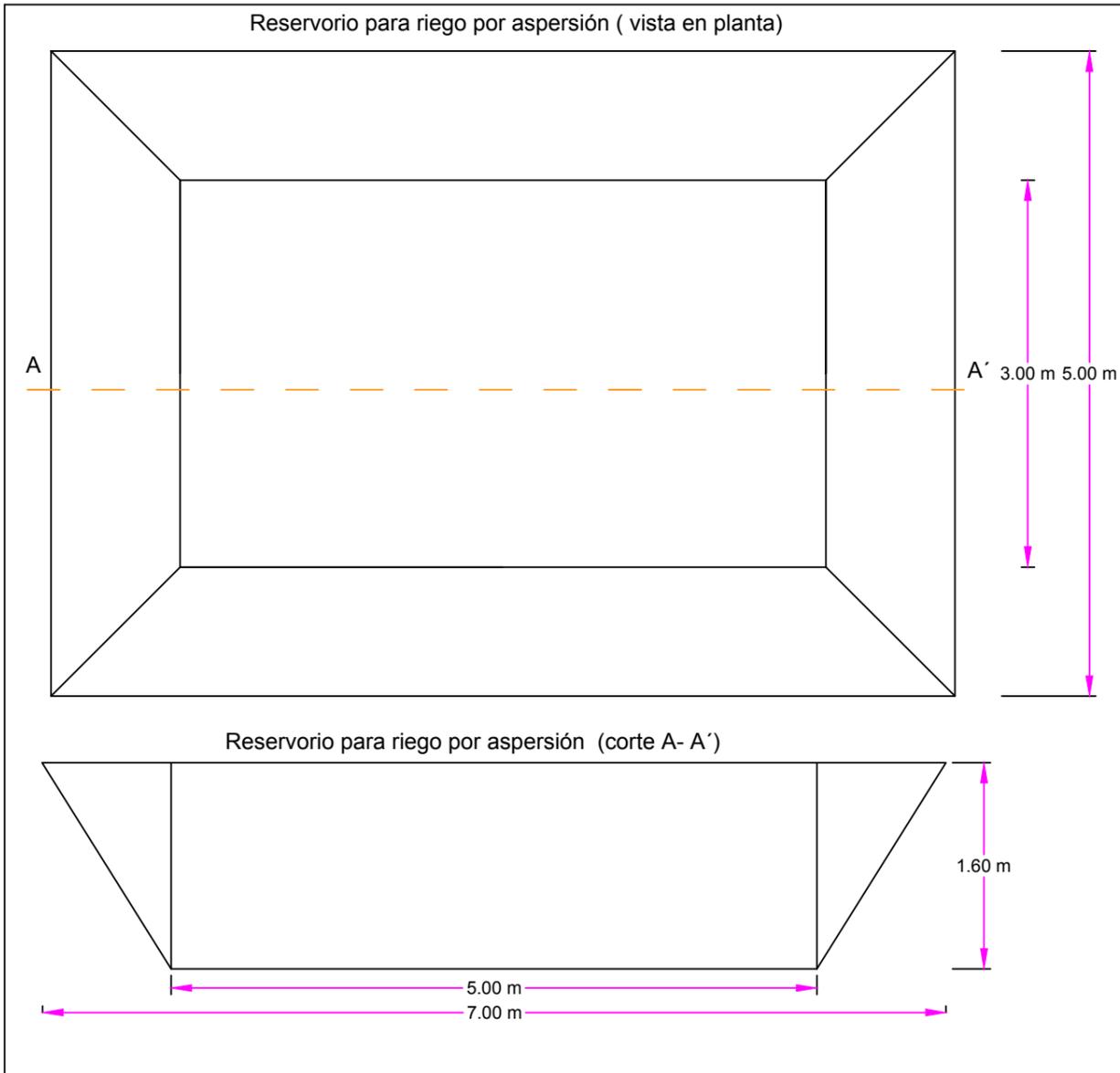
800000.000 820000.000 840000.000  
9160000.000 9180000.000 9200000.000 9220000.000

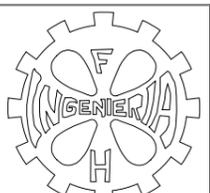
800000.000 810000.000 820000.000  
9180000.000 9190000.000 9200000.000 9210000.000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA – ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA	
PLANO: PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO	Fecha : C/18/12/2023
	Escala: ESPECIFICADA
ASESOR: Ing° Francisco HUAMÁN VIDAURRE	
TESISTA: QUIROS ENCO, Dante Julihnio	
	PLANO PU - 01

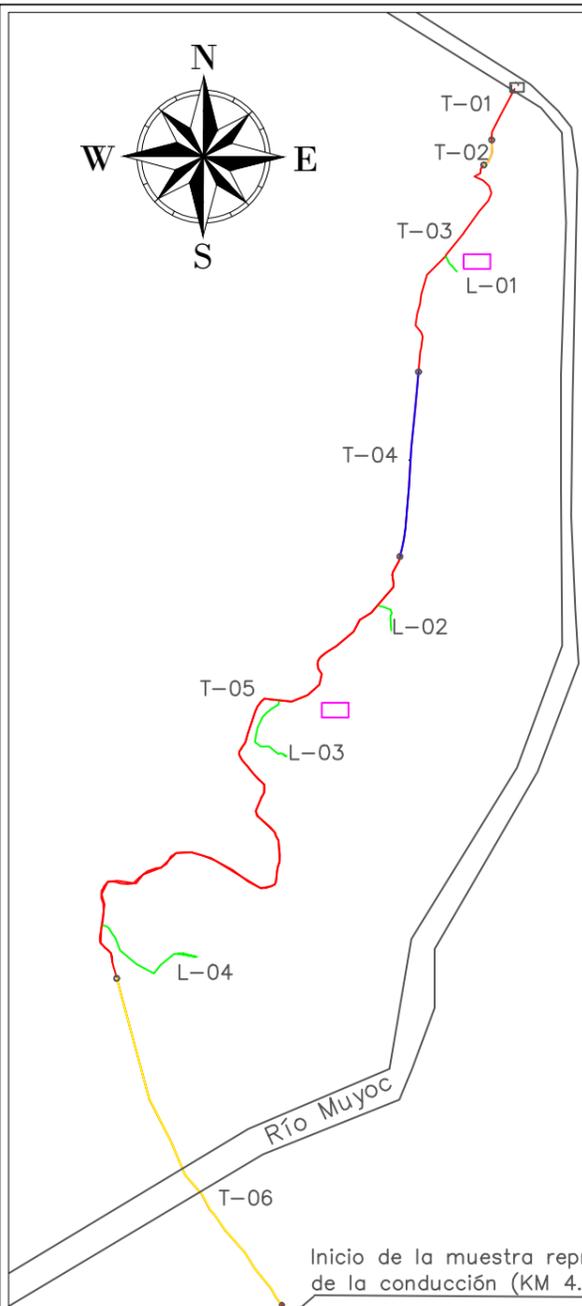


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	
FACULTAD DE INGENIERÍA - ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA	
PLANO:	PLANO DE DETALLES - CAPTACIÓN
Fecha :	c/29/08/2023
Escala	1:100
ASESOR:	Ing° Francisco HUAMÁN VIDAURRE
TESISTA:	QUIROS ENCO,Dante Julihnio
	
PLANO	P D - 0 1



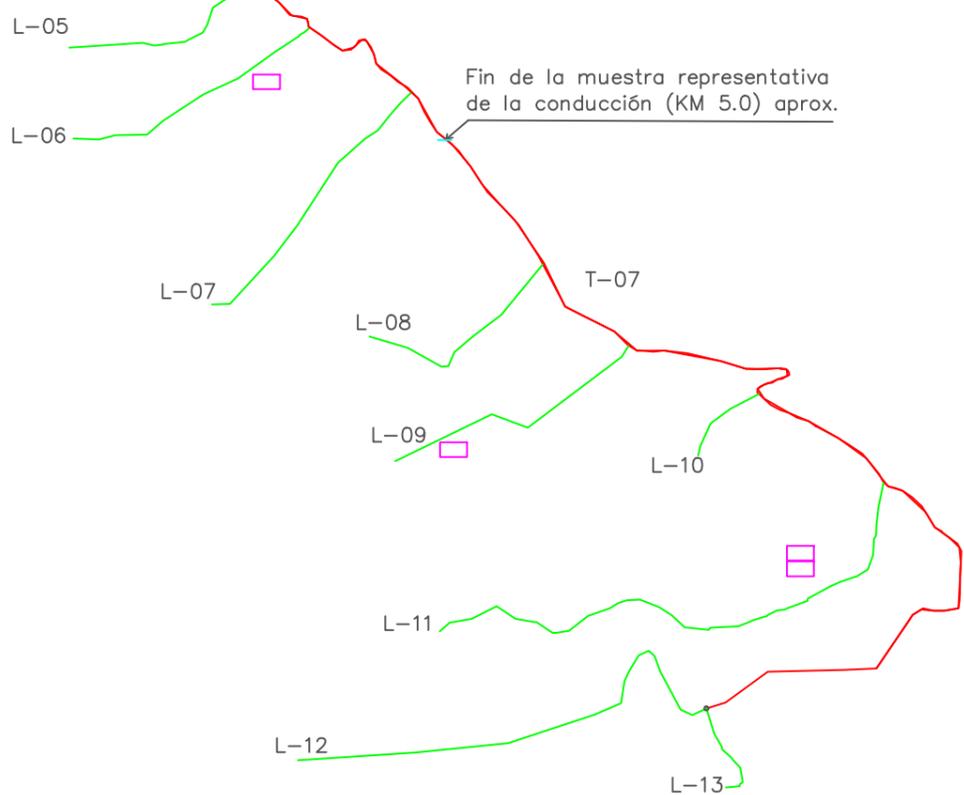
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA – ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA	
PLANO: Detalles y secciones típicas en el sistema	Fecha : C/29/08/2023
ASESOR: Ing° Francisco HUAMÁN VIDAURRE TESISTA: QUIROS ENCO, Dante Julihnio	Escala 1:50  PLANO P D – 0 2

## CROQUIS DEL SISTEMA DE RIEGO



CANALES DE DISTRIBUCIÓN		
N°	Nombre	Longitud (ml)
L-01	Limapampa "L1"	-
L-02	El Alizal "A" (Muestra representativa)	-
L-03	El Alizal "B"	-
L-04	El Alizal "C"	-
L-05	Chuquiamo "A1"	1080.93
L-06	Chuquiamo "A2"	882.32
L-07	Chuquiamo "B"	893.7
L-08	Chuquiamo "C"	1200.69
L-09	Chuquiamo "D" (Muestra representativa)	503.02
L-10	Marcopampa "E"	546.38
L-11	Marcopampa "F" (Muestra representativa)	2593.01
L-12	Marcopampa "H1"	2678.1
L-13	Marcopampa "H2"	577.82
Total		10955.97

TRAMOS EN LA CONDUCCIÓN		
N°	Descripción	Longitud (ml)
T-01	Captación- Entrada de sifon Limapampa	172.5
T-02	Entrada de Sifon Limapampa- salida de sifon Limapampa	32
T-03	Salida de sifón Limapampa - Entrada de Tunel Limapampa	752.57
T-04	Entrada de Tunel Limapampa - Salida de Tunel El Alizal	739.71
T-05	Salida de Tunel El Alizal -Entrada de Sifon El Alizal	1518.66
T-06	Entrada de Sifon El Alizal - Salida de Sifon El Alizal	823.63
T-07	Salida de Sifon El Alizal - lateral H2 Chuquiamo	3747.47
Total		7786.54



LEYENDA	
Símbolo	Descripción
□	Captación
—	Canal de conducción
—	Canales de distribución
—	Tunel Limapampa-El Alizal
—	Sifón Limapampa, El Alizal -Chuquiamo
□	Parcelas de muestra

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA - ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA	
PLANO: "CROQUIS DEL SISTEMA DE RIEGO DEL CANAL SAN MARCOS II-CHUQUIAMO"	Fecha : C/10/06/2025
ASESOR: Ing° Francisco HUAMÁN VIDAURRE	
TESISTA: QUIROS ENCO, Dante Julihnio	