

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO POR
ASPERSIÓN EN LA ZONA DE SOJSAÑA, COMUNIDAD DE PUCARANI,
MUNICIPIO DE ACHOCALLA, DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN
INGENIERÍA CIVIL**

POSTULANTE: PILAR YESYL BONIFACIO CONDORI

TUTOR: Ing. JOSE AUGUSTO DIAZ BENAVENTE

LA PAZ – BOLIVIA

2024



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

AGRADECIMIENTO.

A Dios, por el amor, la sabiduría, la inteligencia y la salud que nos da a cada uno de nosotros.

*A mi casa de estudios, la **Facultad de Ingeniería de la Universidad Mayor de San Andrés**, por acogerme con los brazos abiertos en sus respectivos predios.*

*Al plantel Docente de la **Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Mayor de San Andrés**, por la enseñanza brindada y adquirida durante mi etapa como estudiante.*

*Al **Ing. Jose Augusto Diaz Benavente**, mi tutor, por cada uno de sus aportes y sugerencias en la revisión del presente proyecto de grado.*

*Al **Dr. Ing. Ramiro Simon Pillco Zola**, tribunal del proyecto, por sus sugerencias, recomendaciones y correcciones.*

*Al **Dr. Ing. Edson Edwin Ramirez Rodriguez**, tribunal del proyecto, por sus sugerencias, recomendaciones y correcciones.*

*Al **Ing. Grover Celso Rivera Ballesteros**, tribunal del proyecto, por sus sugerencias, recomendaciones y correcciones.*

*Al **Ing. Edwin Ramiro Astorga Sanjines**, tribunal del proyecto, por sus sugerencias, recomendaciones y correcciones.*

A los comunarios y comunarias de la zona de Sojsaña, por su hospitalidad, colaboración y trabajo mutuo para la elaboración del presente proyecto de grado.

Finalmente, a todos mis amigos y amigas de la Facultad, por su constante incentivo y palabras de aliento.

¡Muchas Gracias!

DEDICATORIA.

“Porque gracias a ustedes sé que el amor y apoyo incondicional existen”.

*A mis padres, **Domiciano Bonifacio Torres y Máxima Condori Quiñonez**, quienes con su amor y apoyo incondicional me han demostrado que este es un valor que realmente existe. Ustedes han sido mis pilares fundamentales en la construcción de los cimientos que me han permitido recorrer este camino.*

*A mis hermanos, **Verónica, Gojan, Carlos y Rosario**, por cada palabra de aliento y por el apoyo constante que nunca me faltó. Gracias a ustedes, siempre tuve la motivación necesaria para continuar.*

Por haber puesto su confianza en mí, los amo.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un estudio de preinversión para la implementación de un sistema de riego tecnificado por aspersión en la zona de Sojsaña, perteneciente a la comunidad de Pucarani, en el municipio de Achocalla, departamento de La Paz. Este sistema busca optimizar el uso de los recursos hídricos disponibles, mejorar la eficiencia en la irrigación y potenciar la producción agrícola en la región.

El estudio incluye un análisis integral de la zona, evaluando la disponibilidad y calidad del agua, las prácticas agrícolas locales y las condiciones socioeconómicas. Se identifican tanto las deficiencias como las potencialidades de la región, y se realiza un análisis de las fuentes hídricas esenciales para el diseño agronómico, considerando información meteorológica, inventarios de caudales y parámetros de calidad del agua (RAS y PSI). Asimismo, se llevan a cabo estudios geotécnicos, se define un calendario agrícola y se evalúan los factores de riesgo del terreno.

Se calculan variables como la evapotranspiración, las áreas de riego y parámetros preliminares del sistema, tales como dosis, lámina de riego, demanda total de agua, frecuencia, turnos de riego y vida útil del sistema. A partir de estos cálculos, se elabora el diseño integral de un sistema de riego tecnificado que incluye una obra de captación tipo ladera, un tanque de almacenamiento con capacidad de 260 m³ y redes de tuberías para la aducción, conducción y distribución de agua. El modelado del diseño se realiza utilizando el software *WaterCAD*, lo que asegura un flujo eficiente y presiones adecuadas conforme a la Norma Boliviana NB-689. Adicionalmente, se realiza un análisis estructural del tanque de almacenamiento utilizando el programa *SAP2000*, garantizando su estabilidad y capacidad portante. Las redes de distribución se diseñan cumpliendo los requisitos hidráulicos, e incluyen cámaras rompe presión para gestionar las diferencias de altura y proteger el sistema.

Finalmente, se determina la viabilidad del proyecto mediante un presupuesto de Bs. 2.112.438,34 y se presentan indicadores financieros (VANF: Bs. 8.298.598,22; TIRP: 42,72%; B/C: 2,82) y socioeconómicos (VANS: Bs. 10.734.727,38; TIRS: 43,73%; B/C: 3,26), que demuestran la rentabilidad y el impacto positivo del proyecto en la región.

ABSTRACT

The objective of this project is to develop a pre-investment study for the implementation of a technified sprinkler irrigation system in the area of Sojsaña, belonging to the community of Pucarani, in the municipality of Achocalla, department of La Paz. This system seeks to optimize the use of available water resources, improve irrigation efficiency and boost agricultural production in the region.

The study includes a comprehensive analysis of the area, assessing water availability and quality, local agricultural practices and socioeconomic conditions. Both the deficiencies and potentialities of the region are identified, and an analysis of the water sources essential for the agronomic design is carried out, considering meteorological information, flow inventories and water quality parameters (RAS and PSI). Geotechnical studies are also carried out, an agricultural calendar is defined and soil risk factors are evaluated.

Variables such as evapotranspiration, irrigation areas and preliminary system parameters such as dose, irrigation lamina, total water demand, frequency, irrigation shifts and useful life of the system are calculated. Based on these calculations, the integral design of a technified irrigation system is developed, which includes a hillside catchment, a storage tank with a capacity of 260 m³ and pipe networks for the adduction, conduction and distribution of water. The design was modeled using WaterCAD software, which ensures efficient flow and adequate pressures in accordance with Bolivian Standard NB-689.

In addition, a structural analysis of the storage tank is performed using the SAP2000 program, guaranteeing its stability and bearing capacity. The distribution networks are designed in compliance with hydraulic requirements and include pressure chambers to manage height differences and protect the system.

Finally, the feasibility of the project is determined with a budget of Bs. 2,112,438.34 and financial (VANF: Bs. 8.298.598,22; TIRP: 42,72%; B/C: 2,82) and socioeconomic (VANS: Bs. 10.734.727,38; TIRS: 43,73%; B/C: 3,26) indicators are presented, which demonstrate the profitability and positive impact of the project in the region.

ÍNDICE

1.	CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES	1
1.1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.	ANTECEDENTES	1
1.2.1.	Riego en el contexto mundial.....	1
1.2.2.	Riego en Bolivia.....	2
1.2.3.	Riego en el área de estudio.....	3
1.3.	JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4.	OBJETIVOS.....	5
1.4.1.	Objetivo General	5
1.4.2.	Objetivos Específicos.....	5
1.5.	ALCANCE	5
1.6.	METODOLOGÍA.....	6
1.7.	LIMITACIONES.....	8
1.8.	MATRIZ DE MARCO LÓGICO.....	9
2.	CAPITULO II. IDENTIFICACIÓN – DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	11
2.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	11
2.1.1.	Aspectos poblacionales	11
2.1.2.	Ubicación del área del proyecto.....	11
2.1.3.	Características del acceso al área del proyecto	13
2.1.4.	Características topográficas	13
2.1.5.	Características del suelo.....	16
2.1.6.	Características climáticas	16
2.2.	RECURSOS HÍDRICOS.....	19
2.2.1.	Fuentes de agua, disponibilidad y características	19
2.3.	CULTIVOS	20
2.3.1.	Cultivo de papa	20
2.3.2.	Cultivo de cebada.....	21
2.3.3.	Cultivo de maíz	21
2.3.4.	Cultivo de haba y arveja.....	22
2.3.5.	Cultivo de hortalizas	22
2.4.	RIEGOS CLIMÁTICOS	23
2.4.1.	Granizos	23
2.4.2.	Sequias	24
2.4.3.	Heladas.....	24
3.	CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.....	26
3.1.	ELABORACIÓN Y DISEÑO DE PROYECTOS	26

3.1.1.	Proyectos de inversión pública en Bolivia	26
3.1.2.	Ciclo de los proyectos de riego	27
3.2.	RECURSOS HÍDRICOS.....	30
3.3.	FUENTES DE AGUA.....	30
3.3.1.	Aguas subterráneas.....	30
3.3.2.	Manantiales	32
3.3.3.	Manantiales de ladera.....	34
3.3.4.	Recargas de los manantiales.....	35
3.3.5.	Demanda de agua para riego	37
3.3.6.	Medición de caudales	37
3.3.7.	Necesidades hídricas	39
3.3.8.	Calidad de agua para fines de riego	40
3.4.	BALANCE HÍDRICO.....	44
3.5.	RIEGO.....	46
3.6.	RIEGO TECNIFICADO	46
3.7.	EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	47
3.7.1.	Evapotranspiración de referencia ET_0	47
3.7.2.	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándares, ET_C	48
3.7.3.	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándares, ET_{C-aj}	48
3.8.	OBRAS DE CAPTACIÓN - MANANTIALES	49
3.8.1.	Obras de captación de aguas subterráneas.	50
3.9.	GEOTECNIA	51
3.9.1.	Determinación empírica de la tensión admisible – Método de la barra dinámica de California – CDG	51
3.9.2.	Procedimiento	51
3.10.	SUELO	53
3.10.1.	Composición del suelo	53
3.10.2.	Textura del suelo	54
3.10.3.	Humedad del suelo.....	55
3.10.4.	Densidad aparente del suelo.....	56
3.10.5.	pH en el suelo.....	57
3.10.6.	Capacidad de Campo.....	58
3.10.7.	Punto de marchitez permanente “PMP”	60
3.10.8.	Velocidad de infiltración básica (VIB)	61
3.11.	HIDRÁULICA DE SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO	63
3.11.1.	Ecuación de continuidad	63
3.11.2.	Ecuación de Bernoulli	64
3.11.3.	Fricción y turbulencia	65
3.11.4.	Estimación de las pérdidas de carga.....	66

3.12.	SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO.....	68
3.12.1.	Definición.....	68
3.12.2.	Eficiencias para sistemas de riego tecnificado.....	69
3.13.	SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO POR ASPERSIÓN.....	70
3.13.1.	Tipos de sistemas de riego tecnificado por aspersión.....	71
3.13.2.	Componentes para instalación de un sistema de riego por aspersión.....	72
3.14.	METODOLOGÍA PARA EVOLUCIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DE PROYECTOS DE RIEGO.....	75
3.14.1.	Marco Normativo Vigente en Bolivia.....	76
3.14.2.	Análisis costo - beneficio.....	76
4.	CAPITULO IV. FUENTES DE RECURSOS HÍDRICOS PARA DISEÑO AGRONÓMICO... 78	
4.1.	RECURSO HÍDRICO.....	78
4.1.1.	Información meteorológica.....	78
4.1.2.	Fuentes de agua.....	78
4.1.3.	Inventario de fuentes y aforo de caudales.....	80
4.2.	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	81
4.2.1.	Análisis de laboratorio.....	81
4.2.2.	Determinación de Relación de Absorción de Sodio “RAS”.....	82
4.2.3.	Determinación del Porcentaje de Sodio Intercambiable “PSI”.....	84
4.3.	CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS.....	86
4.3.1.	Determinación empírica de la tensión admisible – Método de la barra dinámica de California – CDG.....	86
4.3.2.	Análisis Granulométrico.....	87
4.4.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TERRENO DE CULTIVO.....	88
4.4.1.	Calendario agrícola.....	88
4.4.2.	Factores de riesgo de la producción.....	89
4.5.	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO, (ET _o).....	89
4.6.	ÁREAS DE RIEGO.....	90
4.6.1.	Parámetros preliminares para sistema de riego.....	90
4.6.2.	Parámetros del suelo.....	92
4.6.3.	Parámetros de cultivo.....	92
4.6.4.	Parámetros del sistema de riego.....	93
4.7.	PARÁMETROS PRELIMINARES DE DISEÑO AGRONÓMICO.....	94
4.7.1.	Trabajo de gabinete.....	94
4.7.2.	Parámetros del aspersor.....	96
4.8.	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DEL CAUDAL PARA RIEGO.....	99
4.8.1.	Demanda total de agua para riego por ABRO.....	100

4.9.	FRECUENCIA Y TURNOS DE RIEGO POR HIDRANTES	101
4.10.	PERIODO DE VIDA ÚTIL DEI DISEÑO	103
5.	CAPITULO V. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS	105
5.1.	DEFINICIÓN	105
5.2.	OBRA DE CAPTACIÓN TIPO LADERA.....	105
5.3.	TUBERÍAS DE ADUCCIÓN Y/O CONDUCCIÓN A PRESIÓN	108
5.3.1.	Diseño de las tuberías mediante WaterCad.....	108
5.3.2.	Presiones en los nodos de las tuberías mediante WaterCad.....	111
5.3.3.	Modelación de las tuberías mediante WaterCad.....	111
5.4.	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	115
5.4.1.	Parámetros de cálculos estructurales.....	115
5.4.2.	Análisis de la capacidad portante del tanque apoyado.....	116
5.5.	REDES DE DISTRIBUCIÓN	117
5.5.1.	Diseño de las redes de distribución.....	117
5.5.2.	Diseño hidráulico de las tuberías de la red de distribución.....	118
5.5.3.	Cálculo de diámetros de tuberías de distribución	119
5.5.4.	Cálculo de Presión en Cámaras Hidrantes	120
5.5.5.	Cálculo de caudal en la Cámara Hidrante	121
5.6.	OBRAS COMPLEMENTARIAS	122
5.6.1.	Cámara Rompe Presión para redes de distribución.....	122
6.	CAPITULO VI. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA	123
6.1.	EVALUACIÓN ECONÓMICA y financiera de los proyectos de riego.....	123
6.2.	EVALUACIÓN FINANCIERA.....	123
6.2.1.	Presupuesto general del proyecto.....	124
6.2.2.	Indicadores financieros (privados).....	126
6.2.3.	Evolución económica social.....	127
7.	CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129
7.1.	CONCLUSIONES.....	129
7.2.	RECOMENDACIONES	131
8.	CAPITULO VIII BIBLIOGRAFÍA.....	133
9.	ANEXOS	137

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1.	Sistema de Riego por departamento, tamaño y área	3
Cuadro 2.1.	Población de la zona de Sojsaña.....	11

Cuadro 2.2. Familias beneficiarias	11
Cuadro 2.3. Ubicación del área del proyecto	13
Cuadro 2.4. Coordenadas geográficas del área del proyecto	13
Cuadro 3.1. Tipología de proyectos	28
Cuadro 3.2. Parámetros de evaluación del agua para riego	41
Cuadro 3.3. Variables para determinar la ET_0	47
Cuadro 4.1. Calendario agrícola propuesta por la zona de Sojsaña	89
Cuadro 4.2. Factores de riesgo en la producción en la zona de Sojsaña.....	89
Cuadro 5.1. Presión de trabajo en Aspersores.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Matriz de Marco Lógico del Proyecto	9
Tabla 2.1. Clase textural de suelos en la cuenca de Achocalla (Valle húmedo y valle seco)..	16
Tabla 2.2. Precipitación pluvial	17
Tabla 2.3. Temperatura mínima	17
Tabla 2.4. Temperatura máxima	18
Tabla 2.5. Temperatura media	18
Tabla 2.6. Humedad relativa media	18
Tabla 2.7. Humedad relativa mínima.....	18
Tabla 2.8. Humedad relativa máxima	18
Tabla 2.9. Velocidad de viento media.....	19
Tabla 2.10. Velocidad de viento máxima.....	19
Tabla 2.11. Calendario de siembra de la papa de la zona de Sojsaña	20
Tabla 2.12. Calendario de siembra de la cebada de la zona de Sojsaña.....	21
Tabla 2.13. Calendario de siembra del maíz en la zona de Sojsaña.....	21
Tabla 2.14. Calendario de siembra del haba de la zona de Sojsaña.....	22
Tabla 2.15. Calendario de siembra de la arveja de la zona de Sojsaña	22
Tabla 2.16. Calendario de siembra de las hortalizas de la zona de Sojsaña.....	23
Tabla 2.17. Granizos en la zona de Sojsaña.....	23
Tabla 2.18. Sequías en la zona de Sojsaña.....	24
Tabla 2.19. Heladas en la zona de Sojsaña	25
Tabla 3.1. Límites permisibles en cuerpos de aguas superficiales.....	42
Tabla 3.2. Densidad aparente “Da”	57

Tabla 3.3. Capacidad de campo “C.C.”	59
Tabla 3.4. Valores de punto de marchitez permanente	61
Tabla 3.5. Velocidad de infiltración “VIB”	62
Tabla 3.6. Capacidad de infiltración	62
Tabla 3.7. Presión en aspersores	74
Tabla 4.1. Planilla de aforo A1	81
Tabla 4.2. Planilla de aforo A2	80
Tabla 4.3. Análisis de la calidad de Agua.....	82
Tabla 4.4. Composición del suelo de Sojsaña.....	87
Tabla 4.5. Evapotranspiración de cultivo de referencia, (ET _o) – Zona Sojsaña.....	90
Tabla 4.6. Parámetros del Suelo.....	92
Tabla 4.7. Parámetros de Cultivo.....	93
Tabla 4.8. Parámetros del sistema de riego tecnificado	94
Tabla 4.9. Parámetros preliminares de diseño agronómico	94
Tabla 4.10. Parámetros del aspersor	97
Tabla 4.11. Estimación de la demanda del caudal del riego	100
Tabla 4.12. Distribución de bloques de riego	102
Tabla 4.13. Distribución de turnos de riego.....	103
Tabla 4.14. Periodo de Diseño [Años].....	104
Tabla 5.1. Planilla de Resultados del diseño de la Obra de Captación tipo ladera	106
Tabla 5.2. Parámetros hidráulicos máximos y mínimos en tuberías.....	109
Tabla 5.3. Presiones admisibles en los nodos	111
Tabla 5.4. Reporte cálculo Hidráulico en la Tubería de Aducción.....	111
Tabla 5.5. Reporte de presiones en los codos de la tubería de aducción	112
Tabla 5.6. Reporte hidráulico de la tubería de conducción.....	113
Tabla 5.7. Reporte de presiones en las tuberías de conducción	115
Tabla 5.8. Parámetros para el diseño de las tuberías de Distribución.....	118
Tabla 5.9. Reporte Hidráulico de la Red de Distribución	119
Tabla 5.10. Reporte Hidráulico para Hidrantes	121
Tabla 6.1. Presupuesto General de la Obra	124
Tabla 6.2. Indicadores Financieros (Privados).....	127
Tabla 6.3. Razones Precio Cuenta, La Paz.....	127

Tabla 6.4. Indicadores Socioeconómicos	128
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Mapa de la ubicación geográfica del área del proyecto	12
Figura 2.2. Topografía de la zona de Sojsaña	14
Figura 2.3. Mapa de pendientes de la zona de Sojsaña	15
Figura 2.4. Manantiales de la zona de Sojsaña	20
Figura 3.1. Trayectoria del ciclo de vida de inversión pública	27
Figura 3.2. Fases del ciclo de los proyectos de inversión pública	27
Figura 3.3. Proceso clave del EDTP	29
Figura 3.4. Secuencia de los estudios de preinversión para proyectos de sistemas de riego ...	29
Figura 3.5. El agua subterránea como parte del ciclo hidrológico	32
Figura 3.6. Ciclo del agua subterránea que se manifiesta en forma de manantial	33
Figura 3.7. Clasificación de vertientes	34
Figura 3.8. Manantial de ladera concentrado	35
Figura 3.9. Manantial de ladera difuso	35
Figura 3.10. Aforamiento volumétrico	38
Figura 3.11. Aforamiento volumétrico de la zona de Sojsaña	38
Figura 3.12. Sistema de suelo – planta – atmosfera	45
Figura 3.13. Evapotranspiración de cultivo, ETC	49
Figura 3.14. Cálculo del esfuerzo admisible del suelo método de la barra in situ	52
Figura 3.15. Triangulo de texturas USDA	54
Figura 3.16. Diagrama esquemático del suelo	55
Figura 3.17. Densidad aparente “Da”	56
Figura 3.18. pH en el suelo	57
Figura 3.19. Contenido de humedad a capacidad de campo “CC”	58
Figura 3.20. Esquemización de la capacidad de campo y la dinámica general del agua en el suelo	59
Figura 3.21. Punto de marchitez permanente “PMP”	60
Figura 3.22. Velocidad de infiltración	62
Figura 3.23. Ecuación de continuidad	63
Figura 3.24. Perdida de energía en una conducción a presión	65
Figura 3.25. Métodos de riego Vs Eficiencia	70

Figura 3.26. Riego tecnificado por Aspersión	71
Figura 3.27. Hidrante	73
Figura 3.28. Aspersores.....	74
Figura 3.29. Esquema de instalación y distribución de aspersores	74
Figura 4.1. Mapa de la ubicación de las estaciones meteorológicas	79
Figura 4.2. Manantial A1 en la zona de Sojsaña.....	80
Figura 4.3. Manantial A2 en la zona de Sojsaña.....	81
Figura 4.4. Clasificación de las aguas según la salinidad (CE y TDS).....	84
Figura 4.5. Clasificación de las aguas de riego basada en el riesgo de salinidad	86
Figura 4.6. Cálculo del esfuerzo admisible del suelo método de la barra in situ.....	87
Figura 4.7. Triángulo de texturas USDA	88
Figura 4.8. Mapa de las parcelas de riego	91
Figura 4.9. Aspersor JL – 1 1/2"	97
Figura 4.10. Programa de Cálculo del Área Bajo Riego Optimo (ABRO).....	100
Figura 5.1. Diseño de una captación de manantial tipo ladera – vista en planta.....	105
Figura 5.2. Diseño de una captación de manantial tipo ladera – vista lateral	106
Figura 5.3. Mapa general	107
Figura 5.4. Modelación de la tubería de aducción en WaterCad.	110
Figura 5.5. Modelación de la tubería de conducción en WaterCad	110
Figura 5.6. Empuje de la Presión del Agua en las paredes del muro	116
Figura 5.7. Empuje de la Presión del suelo en las paredes del muro	117
Figura 5.8. Modelación de las redes de distribución en WaterCad.....	118

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. DATOS CLIMÁTICOS.....	A-1
ANEXO 2. LISTA DE BENEFICIARIOS	A-2
ANEXO 3. AFOROS DE CAUDAL (VOLÚMENES)	A-3
ANEXO 4. CALIDAD DE AGUA.....	A-4
ANEXO 5. ESTUDIO DE SUELOS	A-5
ANEXO 6. BALANCE HÍDRICO (ABRO)	A-6
ANEXO 7. COSTO DE PRODUCCIÓN	A-7
ANEXO 8. DISEÑO AGRONÓMICO	A-8
ANEXO 9. DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS	A-9

ANEXO 10. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS OBRAS	A-10
ANEXO 11. CÓMPUTOS MÉTRICOS.....	A-11
ANEXO 12. PRECIOS UNITARIOS	A-12
ANEXO 13. PRESUPUESTO DE LA OBRA	A-13
ANEXO 14. EVALUACIÓN FINANCIERA Y ECONOMÍA.....	A-14

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en diversas regiones del mundo, se ha reconocido la importancia crucial de comprender el comportamiento de los recursos hídricos. No basta con explotarlos en momentos de necesidad y escasez sin considerar las generaciones futuras; es imperativo, en cambio, establecer un uso eficiente de estos recursos mediante un sistema de planificación ambiental sostenible. Dado que el agua es un recurso hídrico esencial para la producción agrícola y su disponibilidad se vuelve cada vez más limitada, es necesario adoptar sistemas de riego avanzados que permitan un uso más eficiente y racional del agua.

Los sistemas tradicionales de riego por gravedad presentan significativas pérdidas de agua debido a la infiltración, la saturación innecesaria del suelo, la evaporación y la falta de reservorios. Estas pérdidas no solo afectan la disponibilidad del recurso hídrico, sino que también provocan efectos adversos al suelo, como la erosión, especialmente en terrenos con pendientes pronunciadas.

Por lo tanto, los sistemas de riego tecnificado se presentan como una solución para optimizar el uso de este recurso vital, suministrando a los cultivos la cantidad óptima de agua necesaria para su desarrollo, lo que reduce el desperdicio y mitiga el riesgo de erosión. La planificación de proyectos de sistemas de riego tecnificado incluye tanto el diseño agronómico como el diseño hidráulico.

En este contexto, la implementación de un sistema de riego tecnificado en la zona de estudio se constituye como una alternativa viable que contribuirá a la conservación de los recursos naturales. Además, mejorará los ingresos económicos y las condiciones de vida de las familias beneficiarias. Por último, este proyecto también fomentará e impulsará la actividad agrícola entre los habitantes de la región.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. *Riego en el contexto mundial*

La agricultura es, sin duda, el mayor consumidor de agua a nivel global. El 70% del consumo de agua en el mundo se destina al riego de cultivos. En muchos países en vías de desarrollo, este porcentaje asciende al 95%, desempeñando un papel clave en la producción de alimentos y la

seguridad alimentaria. En la mayoría de estos países, el desarrollo de futuras estrategias agrícolas depende del mantenimiento y la mejora de la agricultura de regadío (David R, S., 1994).

El 70% de agua extraída a nivel mundial se utiliza en actividades agrícolas, las cuales representan una proporción aún mayor del “uso consuntivo del agua” debido a la evapotranspiración de los cultivos. A nivel global, más de 330 millones de hectáreas están equipadas con instalaciones de riego. La agricultura de regadío, aunque representa solo el 20% de la superficie cultivada total, contribuye con el 40% de la producción total de alimentos en el mundo. De la superficie total irrigada en el mundo, el 38% está equipada para el riego con agua subterránea, destacándose países como India (39 millones de hectáreas), China (19 millones de hectáreas) y Estados Unidos (17 millones de hectáreas). El uso total de agua subterránea en la agricultura se estima en 545 [Km³] por año. Sin embargo, en algunas regiones, la extracción excesiva de agua subterránea está conduciendo al agotamiento de los acuíferos (Siebert et al., 2010).

1.2.2. Riego en Bolivia

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), en casi todos los sistemas de riego en Bolivia, el agua se distribuye a través de canales abiertos y se aplica a las parcelas mediante gravedad, predominando el riego por inundación a través de surcos o melgas. Actualmente, se está promoviendo la adopción de sistemas de riego tecnificado en respuesta a la disminución del caudal de las fuentes de agua y al crecimiento de la población de las diferentes comunidades del país, lo que genera una mayor demanda de recursos hídricos. Es crucial, por tanto, utilizar este recurso tan valioso de manera más eficiente.

Bolivia cuenta con aproximadamente 355.500 hectáreas de tierra irrigadas, lo que representa cerca de 11% de las 2.100.000 hectáreas de superficie agrícola total. Existen alrededor de 5.000 sistemas de riego en el país, la mayoría ubicados en las áreas del sur y sureste (valles y altiplano). Estos sistemas están compuestos por una red rudimentaria de canales que dependen de las lluvias y cuentan con pocos elementos de regulación, como presas, lo que los hace altamente vulnerables a la estacionalidad de las precipitaciones, como se resume en el Cuadro 1.1.

El riego tecnificado en Bolivia ha demostrado ofrecer múltiples ventajas: un uso más eficiente del agua, con un incremento de más del 50% en la superficie irrigada; la capacidad de aplicar agua de manera más precisa y oportuna a los cultivos, con un aumento de más del 30% en la eficiencia;

un incremento total de la producción de más del 95%; y una reducción de la erosión del suelo causada por el riego. Además, su manejo es más sencillo y requiere menos esfuerzo por parte de los agricultores, en contraste con los sistemas de riego tradicionales.

Cuadro 1.1. Sistema de Riego por departamento, tamaño y área

DEPARTAMENTO	MICRO [10 ha]	PEQUEÑO [100 ha]	MEDIO [500 ha]	GRANDE [> 500 ha]	TOTAL
Chuquisaca	1 653,00	11 370,00	4 261,00	3 884,00	21 168,00
Cochabamba	1 938,00	22 225,00	27 403,00	35 968,00	81 925,00
La Paz	1 703,00	21 047,00	6 052,00	7 192,00	35 994,00
Oruro	940,00	3 638,00	440,00	9 021,00	14 039,00
Potosí	3 240,00	10 146,00	2 254,00	600,00	16 240,00
Santa Cruz de la Sierra	269,00	5 456,00	8 434,00	1 080,00	15 239,00
Tarija	785,00	12 755,00	17 101,00	5 710,00	36 351,00
TOTAL	10 528,00	86 638,00	65 944,00	63 454,00	226 564,00

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua - MMAyA, 2007.

1.2.3. Riego en el área de estudio

Las familias que residen en la zona de Sojsaña tienen en la producción agrícola, particularmente en el cultivo de hortalizas, una de sus principales fuentes de ingresos. Sin embargo, estas familias enfrentan serias dificultades debido a un sistema de riego precario, que opera en condiciones muy adversas, como una escasa precipitación pluvial y un clima desfavorable. Este sistema de riego, limitado en capacidad y cobertura, solo permite la irrigación de pequeñas parcelas de cultivo, lo que reduce significativamente el potencial agrícola de la zona.

La ineficiencia en la distribución y uso del recurso hídrico impide asegurar un suministro constante y adecuado de agua durante todo el ciclo agrícola de los cultivos. Como resultado, las tierras cultivables no se aprovechan en su totalidad, efectuando negativamente tanto la productividad como los ingresos de las familias agricultoras. La falta de un sistema de riego eficiente y fiable limita el desarrollo agrícola y la capacidad de maximizar la producción en la zona de Sojsaña, subrayando la necesidad urgente de mejorar la infraestructura de riego para garantizar un suministro adecuado de agua y optimizar el rendimiento agrícola.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La producción agrícola en la zona de Sojsaña enfrenta varios desafíos a las variaciones climáticas, los periodos de estiaje, y problemas como la percolación, evaporación e infiltración. Estos factores, junto con la distancia entre la fuente de agua y las parcelas agrícolas, contribuyen

a un aprovechamiento deficiente del recurso hídrico. La limitada optimización del agua solo permite una producción agrícola rentable durante épocas de alta precipitación, lo que resulta en un desaprovechamiento significativo de las áreas aptas para riego. Por tanto, es necesario encontrar soluciones alternativas que aseguren un suministro continuo de agua para los cultivos y que sean sostenibles a largo plazo.

El riego por goteo es un sistema que suministra agua directamente a la base de las plantas a través de tuberías con emisores, ideal para cultivos hileras y suelos con alta percolación, pero puede resultar menos eficiente en terrenos con pendientes o variaciones topográficas significativas.

El riego por microaspersión utiliza pequeños aspersores que permiten una distribución más localizada del agua, siendo útil para cultivos que requieren un riego más difuso, aunque en zonas con pendientes o terrenos irregulares, puede enfrentar dificultades para una cobertura uniforme.

El riego por aspersión, por otro lado, permite una distribución uniforme del agua a través de aspersores montados en diferentes tipos de estructura, desde fijos hasta móviles. Este sistema es particularmente adecuado para superar las limitaciones del sistema de riego actual en la zona de Sojsaña, ya que garantiza una cobertura adecuada incluso en terrenos con pendientes o variaciones topográficas. Además, el riego por aspersión se destaca por su capacidad para ajustar el volumen y la frecuencia del riego en función de las necesidades específicas de los cultivos y las condiciones climáticas, optimizando así el uso del recurso hídrico.

En este contexto, aunque existen diversos sistemas de riego tecnificado, como el riego por goteo, el riego por aspersión y el riego por microaspersión, el riego por aspersión se presenta como opción más adecuada para la zona de Sojsaña.

El riego por aspersión utiliza tecnologías modernas diseñadas para minimizar las pérdidas de agua y maximizar la eficiencia. Al aprovechar de manera eficiente las fuentes de agua subterráneas disponibles en la zona, como los manantiales, este sistema proporciona una oferta de agua mas consistente y adecuada para la producción agrícola, en comparación con otros métodos que pueden ser menos efectivos en la adaptación a las condiciones del lugar.

Además, el proyecto tiene como meta incentivar y potenciar una actividad que presenta una importante fuente de ingresos para los habitantes de la zona, la implementación del sistema de riego tecnificado por aspersión no solo mejorara la eficiencia en el uso del agua y reducirá los

costos asociados con el riego tradicional, sino también incrementará la rentabilidad de los agricultores. Este enfoque contribuirá a la sostenibilidad del sistema de riego y a la viabilidad económica de la agricultura en la región. En consecuencia, el proyecto de grado diseño hidráulico del sistema de riego tecnificado por aspersión en el área de estudio se justifica plenamente, dado su potencial para mejorar significativamente las condiciones de riego y producción agrícola en la zona de Sojsaña.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. *Objetivo General*

Desarrollar un proyecto de preinversión para la implementación de un sistema de riego tecnificado por aspersión en la zona de Sojsaña, comunidad de Pucarani, municipio de Achocalla, departamento de La Paz.

1.4.2. *Objetivos Específicos*

- Realizar un diagnóstico exhaustivo de la situación actual de la producción agrícola de la zona de Sojsaña.
- Diseñar las infraestructuras hidráulicas necesarias para el sistema de riego tecnificado por aspersión.
- Estimar la demanda y oferta del recurso hídrico de la zona de Sojsaña, incluyendo la determinación de la calidad del agua disponible para efectos de riego.
- Elaborar los cómputos métricos y el presupuesto detallado para el diseño hidráulico del sistema de riego tecnificado.
- Definir la factibilidad técnico – económica del proyecto.

1.5. ALCANCE

El presente proyecto de grado se centra en el estudio y diseño técnico de preinversión para un sistema de riego tecnificado en la zona de Sojsaña. El alcance del proyecto abarca las siguientes áreas:

- **Diseño de obras estructurales hidráulicas:**
 - **Obras de captación:** Diseño de las estructuras necesarias para la captación de agua.

- **Obras de aducción y/o conducción:** Diseño de los sistemas para la conducción del agua desde la fuente hasta el sistema de riego.
- **Tanque de almacenamiento:** Diseño del reservorio para almacenar el agua.
- **Redes de distribución:** Diseño de las redes principales de distribución, desde la fuente hasta los hidrantes.
- **Consideraciones técnicas**
 - Se tendrán en cuenta las condiciones topográficas y la demanda de agua específica en la zona de Sojsaña para asegurar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de riego.
- **Tareas a realizar**
 - **Recopilación de información técnica:** Recolección de datos técnicos existentes sobre la zona de estudio.
 - **Recopilación de información topográfica:** Obtención y análisis de datos del modelo digital de elevación (DEM) para evaluar las características del terreno.
 - **Trabajo de campo:**
 - Cuantificación del caudal disponible del agua
 - Extracción de muestras representativas de la fuente de la fuente de agua para determinar la calidad de agua con fines de riego
 - Realización de ensayos empíricos para evaluar la tensión admisible del suelo.
 - **Trabajo de gabinete:**
 - Realización de los cálculos necesarios utilizando software.
 - Cálculo de los precios unitarios de todos los elementos requeridos para la implementación del proyecto.

1.6. METODOLOGÍA

- **Identificación de la fuente hídrica y evaluación de la demanda de agua**

- Realizar salidas y recorrido de campo para medir el caudal de la fuente hídrica y tomar muestras de agua.
- Analizar las muestras para evaluar su aptitud para el riego.
- Ubicar geográficamente la fuente de agua aprovechable.
- Conocer el número de familias y/o pobladores beneficiarios del proyecto.
- Identificar las superficies de cultivo y los tipos de cultivos a regar.
- Recopilar los datos necesarios para definir la disponibilidad y cantidad de agua a captar, con el fin de conducir, almacenar y distribuir el recurso hídrico.
- **Inspección visual del terreno**
 - Realizar visitas in situ para una inspección visual completa del terreno.
 - Identificar problemas característicos que pueden influir en el diseño del sistema de riego.
 - Evaluar las condiciones específicas del área de Sojsaña para asegurar un diseño eficiente y adecuado a las necesidades locales.
- **Análisis de los requerimientos hídricos**
 - Evaluar las necesidades específicas de cada tipo de cultivo:
 - **Cultivos a secano:** Identificar cultivos que dependen principalmente de las lluvias naturales, con precipitaciones anuales de aproximadamente 500 [mm].
 - **Cultivos de riego:** Identificar cultivos que requieren riego constante, con precipitaciones anuales de aproximadamente 510 a 660 [mm].
 - **Cultivos de subsistencia:** Evaluar cultivos destinados a la alimentación, que requieren una cantidad moderada de agua, con precipitaciones anuales de alrededor de 510 a 660 [mm].
- **Ubicación de la obra de captación**
 - Recorrer el terreno de la zona de Sojsaña para seleccionar la ubicación más adecuada para la obra de captación.

- Considerar la condiciones topográficas y climáticas específicas del área del proyecto, basándose en recomendaciones bibliográficas.
- **Investigación de estaciones meteorológicas**
 - Identificar y estudiar las estaciones meteorológicas más cercanas al área del proyecto.
 - Recolectar datos sobre precipitación, humedad, temperatura y otros parámetros meteorológicos relevantes.
- **Diseño y cuantificación del sistema de riego**
 - Diseñar los componentes del sistema de riego, incluyendo la obra de captación, tuberías de aducción y conducción, tanque de almacenamiento, red de distribución e hidrante.
 - Utilizar análisis de precios unitarios y cómputos métricos para cuantificar la construcción del sistema.
 - Agrupar los análisis por modulo y determinar el precio referencial del proyecto, utilizando el programa Quark – Costos y Presupuestos.

1.7. LIMITACIONES

Las limitaciones del presente proyecto del sistema de riego tecnificado en la zona de Sojsaña son las siguientes:

- **Precipitación:** El estudio hidrológico se basó en datos de precipitación proporcionadas por las estaciones meteorológicas de SENAMHI más cercanas al área de estudio.
- **Topografía:** Los parámetros topográficos se calcularon utilizando imágenes satelitales DEM (12,5 [m] y 30,0 [m]) ALOS PALSAR, procesadas en formato ráster y shapefile. Sin embargo, estas imágenes pueden no ser suficientemente precisas para determinar las condiciones topográficas exactas del área de estudio.
- **Cultivos:** El análisis agronómico se basó en los cultivos actualmente existentes en la zona (haba verde, maíz, papa, arveja, hortalizas). Sin embargo, la posible variación futura en los cultivos podría afectar la eficiencia del sistema de riego.

- **Suelo:** Debido a las limitaciones económicas y logísticas del proyecto, no se realizarán análisis de suelo detallados para cada parcela. Esta limitación podría afectar la precisión en la determinación de las necesidades hídricas específicas de cada cultivo.
- **Funcionalidad:** El diseño de tuberías de aducción y/o conducción y distribución se limitó a condiciones mínimas de funcionalidad, en cuanto a velocidades, presión de tuberías y nudos, de acuerdo con las (Guías para la elaboración de estudios de diseño técnico de preinversión para proyectos de Riego, 2018).
- **Hidrantes:** El proyecto propuesto finalizara en el diseño de hidrantes para cada uno de los 46 beneficiarios, cumpliendo con las condiciones más adecuadas. Sin embargo, la metodología de riego se basará en la distribución por caudal y no por parcela, lo que podría resultar en una distribución menos uniforme sin preferencia específica.

Estas limitaciones pueden afectar la precisión y eficiencia del sistema de riego tecnificado diseñado. Es importante tener en cuenta estas limitaciones al momento de implementar el proyecto y realizar ajustes necesarios para asegurar un riego eficiente y sostenible en la zona de Sojsaña.

1.8. MATRIZ DE MARCO LÓGICO

En la Tabla 1.1 se presenta el marco lógico del presente proyecto, el cual proporciona una visión estructurada y detallada de los componentes clave que guiarán el desarrollo del sistema de riego tecnificado en la zona de Sojsaña. Este marco lógico incluye: objetivo, propósito y resultados del proyecto.

Tabla 1.1 Matriz de Marco Lógico del Proyecto

OBJETOS	INDICADORES		FUENTE DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
	SIN PROYECTO	CON PROYECTO		
OBJETIVO GENERAL:				
Proponer un proyecto a nivel de preinversión del sistema de riego tecnificado por aspersión de la zona de Sojsaña, en el municipio de Achocalla.	46 familias de la zona de Sojsaña se ven en la necesidad de mejorar su producción de cultivos	46 familias beneficiarias donde se emplean turnos de riego para satisfacer la demanda a nivel de una red colectiva (que se les da a todos un mismo cupo de caudal)	Inspección y visita a la zona de interés Lista de los beneficiarios	Se establece una distribución a nivel de una red colectiva, siendo de esta manera la distribución de un mismo caudal para cada beneficiario.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:				
<ul style="list-style-type: none">• Realizar el diagnóstico de la situación actual productiva de la zona.• Diseñar las infraestructuras hidráulicas del sistema de riego tecnificado.• Estimar la demanda de agua y oferta de la fuente.	Se cuenta con una agricultura a secano (utiliza la propia agua de la lluvia como sistema de riego). La comunidad cuenta con fuentes de agua subterránea mismas que	Con el sistema de riego tecnificado, así como todas las implementaciones que forman parte de la elaboración del diseño final se llega a regar 13.96 [Ha] de los diferentes cultivos en la zona de Sojsaña.	Inspección y visita a la zona de interés Cálculo del área bajo riego óptimo con la colaboración de ABRO.	El derecho propietario de los beneficiarios sobre la fuente de agua se encuentra consolidado La productividad de los cultivos se incrementa en base a la implementación del eficiente aprovechamiento y

<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar los hidrantes para el sistema de riego tecnificado. • Elaborar los cálculos métricos y presupuesto del diseño hidráulico del sistema de riego tecnificado. • Definir la factibilidad técnica – económica. 	no son aprovechadas de manera eficiente y planificada.	Se considera una eficiencia del sistema de 78.37 % en este sistema de riego tecnificado por aspersión.		conducción del recurso hídrico.
METAS:				
<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de un sistema de riego tecnificado por aspersión en la zona de Sojsaña. • Incrementar la producción de los diferentes cultivos de la zona de Sojsaña. 	El aprovechamiento de la fuente hídrica del manantial tipo ladera no es eficiente.	Se diseño la obra de captación tipo ladera. Compuesta por una cámara seca, una cámara húmeda y dos aleros.	De la elaboración del diseño que cumpla con las características necesarias para la zona de Sojsaña.	La fuente de agua permite el abastecimiento óptimo y eficiente. Se diseño las obras de acuerdo a la necesidad de la zona de Sojsaña.
ACTIVIDADES:				
<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de la obra de captación. • Trazado y diseño de la tubería de aducción. • Diseño del Tanque de almacenamiento. • Trazado y diseño de la tubería de conducción. • Diseño de las obras complementarias. • Diseño y trazado de la red de distribución. • Diseño de la cámara de rompedresión. • Diseño de los hidrantes. 	Los manantiales son la principal fuente hídrica, teniendo derecho de agua en la zona de Sojsaña. No se cuenta con ningún sistema de riego que permita una optimización y aprovechamiento eficiente de la fuente hídrica de la zona de Sojsaña.	Se realizo el diseño de la obra de captación tipo ladera. Se tiene el diseño de la tubería de aducción. Se cuenta con el diseño del tanque de almacenamiento de 260 m ³ la zona de Sojsaña. Se cuenta con una cámara de llaves. Se diseño las tuberías de conducción. Se cuentan con tres cámaras de rompedresión. Se cuenta con cinco cámaras de purga lodos. Se cuenta con cinco cámaras ventosa. Se diseño 46 cámaras hidrantes	Cálculo del área bajo riego óptimo con la colaboración de ABRO.	Se diseño todos los componentes necesarios para la buena ejecución del proyecto.

El marco lógico tal como se detalla en la Tabla 1.1, sirve como una herramienta esencial para la planificación, ejecución y evaluación del proyecto asegurando una implementación efectiva y un monitoreo continuo de los progresos hacia los objetivos establecidos.

CAPITULO II

IDENTIFICACIÓN – DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1.1. Aspectos poblacionales

Según los datos del último censo (2001 – 2012), la tasa de crecimiento poblacional del municipio de Achocalla es de 3,4%. Este dato es crucial para entender la dinámica poblacional y sus implicaciones en el proyecto de riego tecnificado. La población total de la zona de interés se detalla en el Cuadro 2.1. Este diagnóstico poblacional permite evaluar las necesidades de recursos y planificar de manera adecuada el sistema de riego para satisfacer la demanda de una población en crecimiento.

Cuadro 2.1. Población de la zona de Sojsaña

CENSO	TOTAL
2022	1136

Fuente: Datos proporcionados por la zona (Sojsaña, 2022)

En el Cuadro 2.2 se muestra el número de familias beneficiarias del proyecto, lo cual es un indicador clave para evaluar la magnitud del impacto que tendrá el sistema de riego tecnificado en la zona de Sojsaña. El listado detallado de estas familias se encuentra en el ANEXO 2. Esta información es fundamental para comprender las necesidades hídricas actuales y planificar un sistema que asegure una distribución equitativa y eficiente del recurso, ajustado a las características y demandas específicas de cada familia beneficiaria.

Cuadro 2.2. Familias beneficiarias

ZONA	Nro. BENEFICIARIOS
Sojsaña	46

2.1.2. Ubicación del área del proyecto

La zona de Sojsaña está ubicada en el lado oeste del valle de Achocalla, al pie de la barrancada que limita con El Alto, como se detalla en el Cuadro 2.3. El municipio de Achocalla, por su parte, se encuentra en un extenso valle situado al sureste de El Alto y al suroeste de La Paz, tal como se ilustra en la Figura 2.1. Esta ubicación geográfica es crucial para comprender las características topográficas y climáticas que influirán en el diseño y la implementación del sistema de riego tecnificado en la zona.

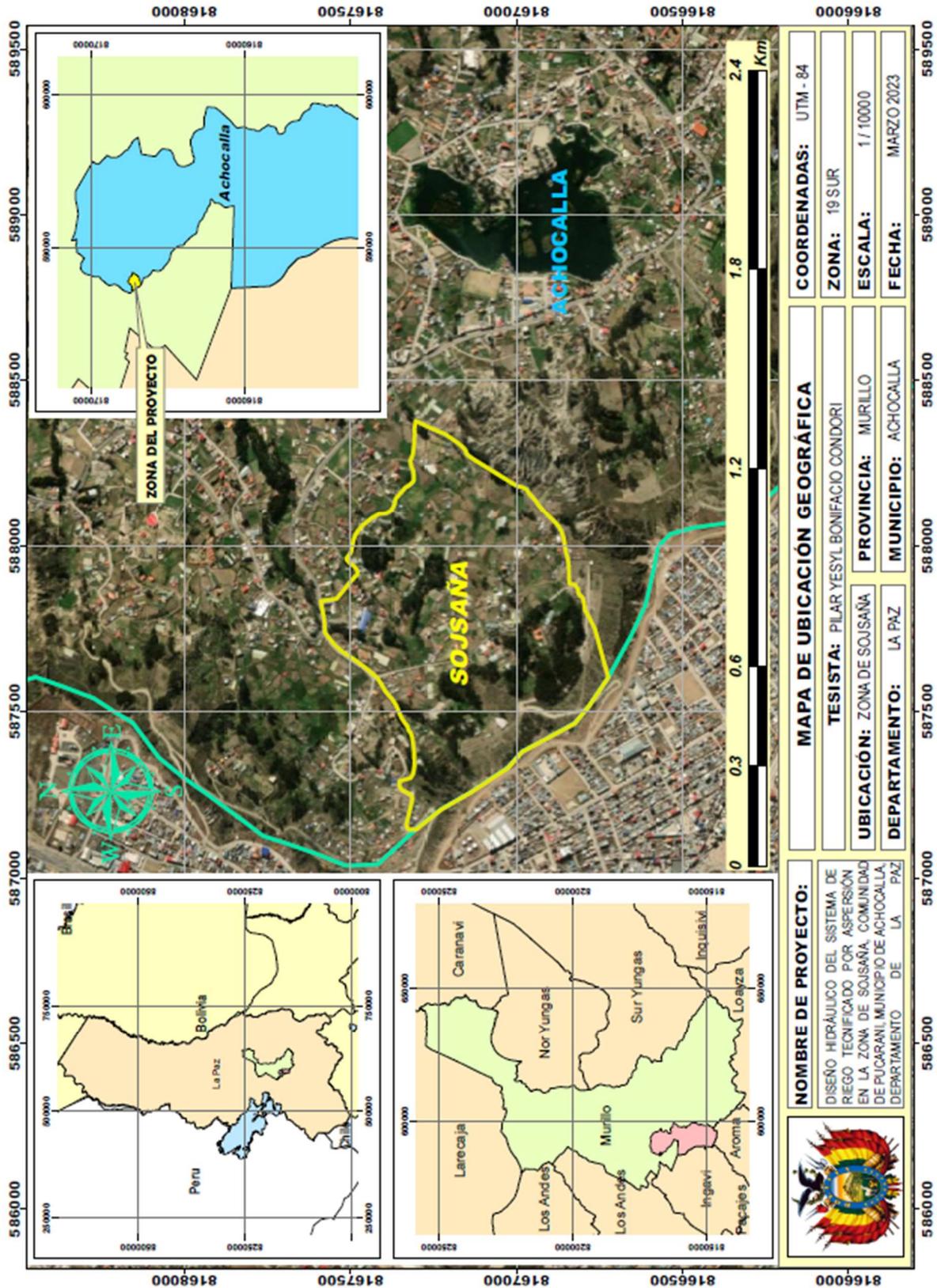


Figura 2.1. Mapa de la ubicación geográfica del área del proyecto

Cuadro 2.3. Ubicación del área del proyecto

DEPARTAMENTO: La Paz
PROVINCIA: Murillo
MUNICIPIO: Achocalla
COMUNIDAD: Pucarani
ZONA: Sojsaña

Geográficamente, la zona de Sojsaña se encuentra ubicada en las coordenadas detalladas en el Cuadro 2.4. Esta información es esencial para comprender la localización precisa del área de estudio, lo que permitirá una mejor planificación y ejecución del sistema de riego tecnificado, teniendo en cuenta las condiciones geográficas específicas que podrían influir en el diseño y la implementación del proyecto.

Cuadro 2.4. Coordenadas geográficas del área del proyecto

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
LATITUD	LONGITUD
16°34'30"	68°10'30"
COORDENADAS UTM – 84	
ZONA	Hemisferio
19	S
ESTE	NORTE
588 013,8	8 167 278,8
ALTITUD	
3820 msnm	

2.1.3. Características del acceso al área del proyecto

La zona de Sojsaña forma parte del municipio de Achocalla, ubicada a 30 [Km] al sur de la ciudad de La Paz. Este municipio se divide en dos regiones: la planicie altiplánica al norte, que colinda con la ciudad de El Alto y las provincias de Ingavi y Los Andes, y la cuenca o cabecera del valle del sur, que limita con el municipio de Mecapaca.

La accesibilidad a la zona del proyecto es adecuada, con un camino asfaltado que proporciona estabilidad y un tramo final de camino de tierra que es transitable durante todo el año. Además, la zona cuenta con acceso mediante transporte público, conectando la Calle 8 de Calacoto con Achocalla y El Alto (Molino Andino) en ambos sentidos.

2.1.4. Características topográficas

La topografía de la zona de Sojsaña se caracteriza por una variedad de relieves y pendientes, reflejando las complejidades geográficas típicas de la región altiplánica. Las superficies del área son moderadamente accidentadas, con una combinación de terrenos irregulares y relieves

ligeramente ondulados. Las pendientes en esta región presentan una variabilidad considerable según la altitud, siendo más pronunciadas en ciertos sectores y más suaves en otros.

La mayoría de la cuenca que abarca el área de estudio exhibe una topografía predominantemente plana, donde las pendientes oscilan entre el 10% y el 40%, como se muestra en la Figura 2.2. Estas características topográficas influyen directamente en la planificación del sistema de riego, ya que las pendientes afectarán la distribución del agua y la eficiencia del sistema. Adicionalmente, se identificaron áreas prácticamente planas, con pendientes cercanas al 0%, lo cual, aunque menos frecuente, resulta significativo para la optimización del diseño hidráulico y la implementación de tecnologías de riego.

Para una mejor clasificación de las pendientes presentes en la zona de Sojsaña, se ha elaborado un análisis detallado que se presenta en la Figura 2.3, donde se destacan las variaciones topográficas clave para la planificación del sistema de riego tecnificado. Este análisis permite identificar las zonas que requieren un diseño más cuidadoso en cuanto al manejo del agua, asegurando que la infraestructura propuesta se adapte de manera óptima a las condiciones del terreno.



Figura 2.2. Topografía de la zona de Sojsaña

Estas características topográficas, combinadas con la altitud que varía entre los 3 862 a 3 871 [msnm], imponen desafíos específicos para la implementación de infraestructuras hidráulicas. La comprensión detallada de estas variaciones es crucial para el diseño eficiente y sostenible del sistema de riego tecnificado, ya que influye directamente en la distribución del agua, la ubicación de las obras de captación y la estabilidad de las estructuras propuestas.

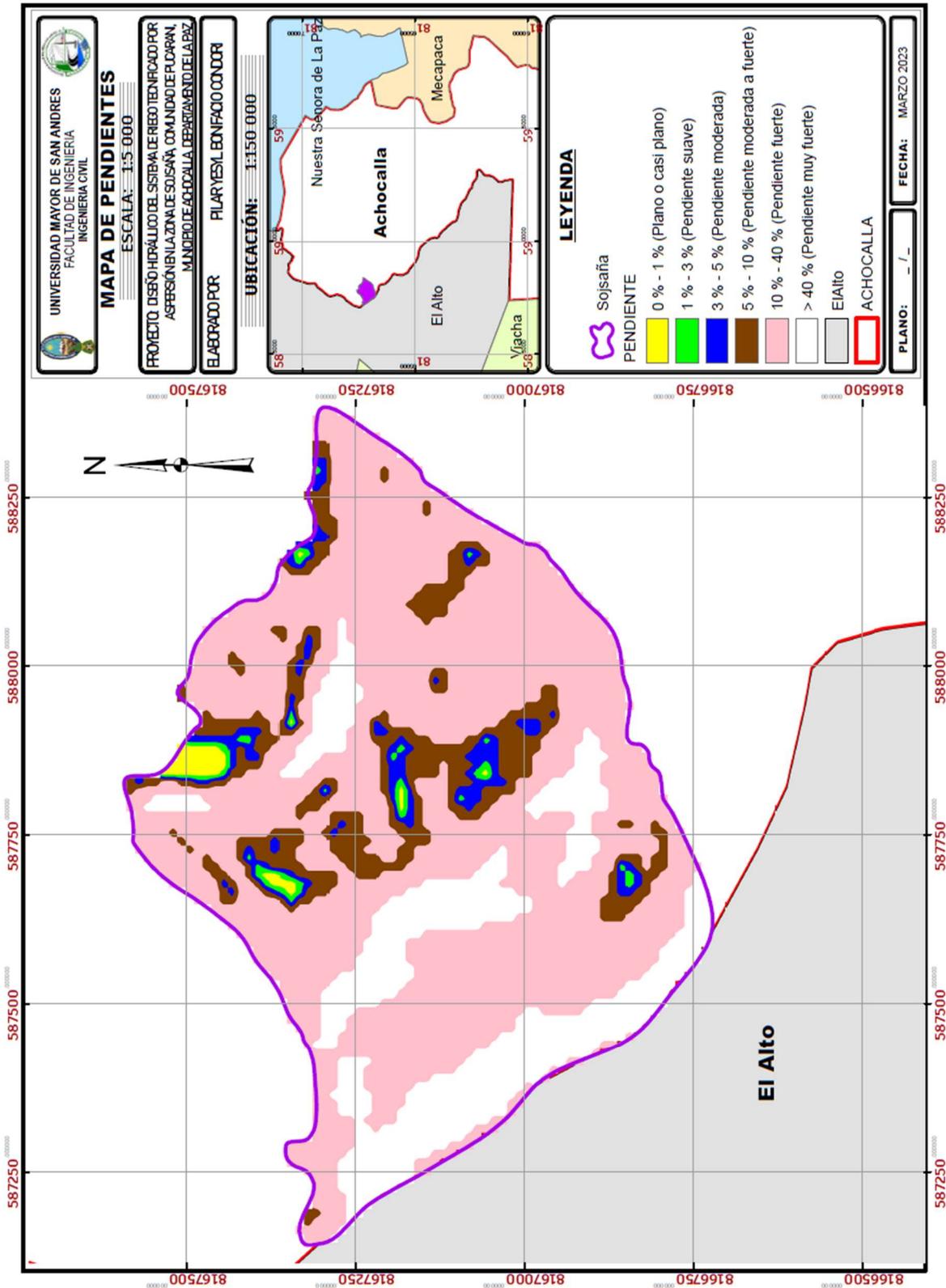


Figura 2.3. Mapa de pendientes de la zona de Sojsaña

2.1.5. Características del suelo

El suelo de la zona de Sojsaña se caracteriza por ser laminado y estratificado, con alternancia de estratos de arena, limo, arcilla y grava. En algunos terrenos planos, se han observado bofedales sobre capas impermeables de arcilla. La textura de suelo varia, predominando las clases Franco – Arcilloso – Limoso, Arcilloso – Arenoso, Franco – Limoso y Franco – Limoso – Arcilloso, lo que lo hace apto para el cultivo de hortalizas. El pH promedio de los suelos en esta zona oscila entre 7 y 8. La vegetación predominante incluye ciprés, eucalipto, chillca, tarwi silvestre, kikuyo y retama. Los resultados de un estudio realizado en 1994 con 40 muestras de suelos de la microcuenca de Achocalla, detallado en la Tabla 2.1, proporcionan información clave sobre las características del suelo en el área de interés.

Tabla 2.1. Clase textural de suelos en la cuenca de Achocalla (Valle húmedo y valle seco).

CLASE TEXTURAL	FRECUENCIA	PORCENTAJE [%]
Franco - Arenoso	2	5
Franco - Areno - Limoso	4	10
Franco - Limoso	3	7.5
Franco - Arcilloso	6	15
Franco - Arcillo - Arenoso	13	32
Arcilloso - Limoso	2	5
Arcilloso - Arenoso	10	25

Fuente: Diagnostico de la microcuenca de Achocalla (SEMTA).

2.1.6. Características climáticas

2.1.6.1. Descripción

El clima de la zona de Sojsaña es variable debido a su topografía, que consiste en relieves suaves características de las laderas. Sin embargo, Sojsaña presenta un microclima distintivo, influenciado por su ubicación geográfica, que está protegido de los vientos fríos y experimenta la reflexión del calor debido a los accidentes geográficos, como los barrancos y desniveles bruscos en la superficie terrestre que la rodean.

Esta configuración geográfica da lugar a dos temporadas climáticas predominantes durante el año: una temporada seca y fría, y una temporada lluviosa y cálida. Estas condiciones permiten el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas y silvestres en la transición entre estas dos épocas, donde se observan climas intermedios que facilitan la adaptación de diversas especies vegetales.

2.1.6.2. Precipitación pluvial

Las precipitaciones en la zona de Sojsaña forman parte del sistema climático local y varían significativamente a lo largo del año. Durante la época seca y fría, que corresponde a los meses de junio, julio y agosto, las precipitaciones anuales mínimas oscilan entre 5,5 y 8,9 [mm]. En contraste, durante la época lluviosa, que abarca los meses de diciembre, enero y febrero, las precipitaciones máximas anuales alcanzan entre 83,5 y 97,6 [mm]. El promedio anual de precipitaciones en la zona es de 497,3 [mm], como se detalla en la Tabla 2.2. Estas variaciones en las precipitaciones son cruciales para el diseño del sistema de riego, ya que influye influyen directamente en la disponibilidad del recurso hídrico y en las estrategias para su manejo eficiente.

Tabla 2.2. Precipitación pluvial

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PP [mm]	97,6	83,5	54,3	37,2	16,2	8,9	5,5	8,5	26,8	35,6	37,4	85,8	497,3

Fuente: SENAMHI.

2.1.6.3. Temperaturas

a) Temperaturas mínimas

Las temperaturas mínimas en la zona de Sojsaña, según se detalla en la Tabla 2.3, muestran un comportamiento variable. Sin embargo, los pobladores de la zona indican que no se registran heladas nocturnas, lo cual es un factor relevante para la planificación agrícola y el diseño del sistema de riego tecnificado.

Tabla 2.3. Temperatura mínima

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T [°C]	1,9	1,7	0,5	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,6

Fuente: SENAMHI.

b) Temperaturas máximas

Las temperaturas máximas promedio en la zona de Sojsaña corresponden a la época lluviosa y cálida, donde se registran temperaturas que pueden alcanzar hasta los 24,8 °C, como se resume en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Temperatura máxima

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T [°C]	19,9	19,0	18,1	17,7	17,6	16,2	17,0	18,0	19,8	24,3	24,8	20,5

Fuente: SENAMHI.

c) Temperaturas medias

Las temperaturas medias en la zona de Sojsaña oscilan entre 6,3 °C y 9,9 °C, como se refleja en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Temperatura media

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T [°C]	8,9	8,9	8,6	8,0	7,0	6,3	6,3	7,0	7,8	9,0	9,9	9,3

Fuente: SENAMHI

2.1.6.4. Humedad relativa

Según los datos del área de proyecto proporcionados por SENAMHI, la humedad relativa en la zona de Sojsaña presenta una variación notable a lo largo del año. Durante los meses de septiembre a abril, se registra una humedad relativa media que oscila entre el 56 % y el 67 %, como se muestra en la Tabla 2.6. Por otro lado, la humedad relativa mínima se presenta entre los meses de julio y noviembre, con valores que varían de 6,9 % a 8,6 %, según se indica en la Tabla 2.7. La humedad relativa máxima se observa se septiembre a mayo, con valores que van del 98,6 % al 99,3 %, tal como se detalla en la Tabla 2.8.

Tabla 2.6. Humedad relativa media

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
[%]	74	76	75	67	53	48	43	46	56	58	59	69

Fuente: SENAMHI

Tabla 2.7. Humedad relativa mínima

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
[%]	22,3	24,5	21,3	17,1	11,9	10,5	6,9	6,5	7,5	7,9	8,6	16,9

Fuente: SENAMHI

Tabla 2.8. Humedad relativa máxima

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
[%]	99,3	99,3	99,3	99,3	99,3	99,1	99,0	99,2	98,6	99,2	99,3	99,3

Fuente: SENAMHI

2.1.6.5. Velocidad del viento

La velocidad del viento de la zona de Sojsaña es también moderadamente variable, con la media anual de 4,4 [Km/h], como se refleja en la Tabla 2.9. Las velocidades máximas del viento se registran entre los meses de febrero y junio, alcanzando valores entre 20,1 [Km/h] y 20,3 [Km/h], según se muestra en la Tabla 2.10.

Tabla 2.9. Velocidad de viento media

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
[Km/h]	4.3	4.4	4.2	4.0	4.3	4.5	4.3	4.3	4.7	4.5	5.0	4.4	4.4

Fuente: SENAMHI

Tabla 2.10. Velocidad de viento máxima

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
[Km/h]	19,1	20,1	17,3	17,3	18,2	20,3	18,0	16,3	20,1	19,3	20,0	19,0

Fuente: SENAMHI

2.2. RECURSOS HÍDRICOS

2.2.1. Fuentes de agua, disponibilidad y características

En la zona de Sojsaña, los recursos hídricos disponibles provienen principalmente de manantiales tipo ladera. Estos manantiales emergen de manera natural desde las laderas de los cerros, formándose por la interacción entre los acuíferos subterráneos y un estrato impermeable que obliga al agua a ascender hacia la superficie. Este fenómeno es típico de las regiones altoandinas, donde el agua subterránea se desplaza por gravedad y aflora en áreas accesibles, proporcionando una fuente vital para el consumo humano y agrícola en la región.

Actualmente, los manantiales tipo ladera en la zona de Sojsaña, como se muestra en la Figura 2.4, desempeñan un papel fundamental en el abastecimiento de agua, siendo una fuente crucial tanto para el consumo humano como para el riego agrícola. La concentración de estos manantiales en áreas específicas de las laderas facilita la disponibilidad de agua, permitiendo su uso para el riego de cultivos y para satisfacer las necesidades de las comunidades locales.

El diagnóstico actual revela que estos manantiales ofrecen un flujo constante de agua, lo que es fundamental para el desarrollo de sistemas de riego tecnificado. La implementación de un sistema de riego tecnificado en la zona se beneficia directamente de la existencia de estos manantiales, ya que proporciona una fuente de agua confiable y consistente. Esto no solo optimiza

el uso del agua, sino que también asegura un suministro adecuado durante todo el ciclo agrícola, adaptándose a las condiciones climáticas y geográficas específicas de la región.



Figura 2.4. Manantiales de la zona de Sojsaña

Por lo tanto, la presencia de manantiales tipo ladera en la zona de Sojsaña se constituye como una ventaja significativa para el diseño e implementación de un sistema de riego tecnificado. Este recurso hídrico permite mejorar la eficiencia en la distribución del agua y garantizar un riego adecuado para los cultivos, lo que es esencial para el desarrollo agrícola sostenible en la región.

2.3. CULTIVOS

2.3.1. Cultivo de papa

El área destinada al cultivo de papa en la zona de Sojsaña es de aproximadamente 0,5 a 1,2 hectáreas por familia. La época de siembra más frecuente abarca de julio a noviembre, lo que clasifica a este cultivo como de ciclo corto. Esta información es crucial para evaluar las necesidades hídricas y la planificación del sistema de riego, dado que las características del cultivo de papa, como su requerimiento de agua y el periodo de crecimiento, deben ser consideradas para optimizar el uso de los recursos en la zona. La Tabla 2.11 proporciona una guía general para la siembra de cebada en la zona de Sojsaña, basada en las prácticas y condiciones locales.

Tabla 2.11. Calendario de siembra de la papa de la zona de Sojsaña

ACTIVIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Preparado del suelo:												
Siembra:												
Crecimiento:												
Cosecha:												
Descanso del suelo:												

2.3.2. Cultivo de cebada

En la zona de Sojsaña, el cultivo de cebada se utiliza principalmente como forraje para la alimentación del ganado, especialmente para el vacuno lechero. Este cultivo también se produce en menor proporción para la obtención de grano. La siembra de cebada se realiza principalmente después de las primeras lluvias, que ocurren en los meses de noviembre y diciembre. A pesar de su importancia como forraje, no se emplean técnicas de conservación adecuadas, lo que resulta en una pérdida significativa de nutrientes en el forraje. La falta de métodos de conservación limita el aprovechamiento óptimo del forraje y afecta la calidad nutricional disponible para el ganado.

Tabla 2.12. Calendario de siembra de la cebada de la zona de Sojsaña

ACTIVIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Preparado del suelo:												
Siembra:												
Crecimiento:												
Cosecha:												
Descanso del suelo:												

La Tabla 2.12 proporciona una guía general para la siembra de cebada en la zona de Sojsaña, basada en las prácticas y condiciones locales.

2.3.3. Cultivo de maíz

En la zona de Sojsaña, el maíz es un cultivo importante, con una superficie promedio de entre 0,3 y 0,5 hectáreas por familia. Se utilizan semillas de variedades resistentes a la sequía, adecuadas para las condiciones climáticas de la región. La siembra de maíz se realiza desde diciembre hasta principios de enero, según las encuestas a los pobladores locales. Este cultivo juega un papel crucial en la seguridad alimentaria de la zona. Sin embargo, la dependencia de variedades resistentes y el momento específico de siembra reflejan las adaptaciones necesarias ante las condiciones ambientales y climáticas locales.

Tabla 2.13. Calendario de siembra del maíz en la zona de Sojsaña

ACTIVIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Preparado del suelo:												
Siembra:												
Crecimiento:												
Cosecha:												
Descanso del suelo:												

La Tabla 2.13 proporciona una guía general para la siembra de maíz en la zona de Sojsaña, basada en las prácticas y condiciones locales.

2.3.4. *Cultivo de haba y arveja*

Las especies de arveja y haba se cultivan en parcelas pequeñas, con superficies que oscilan entre 0,2 y 0,3 hectáreas por familia. La época de siembra para estas especies es de julio a septiembre, mientras que la cosecha se realiza entre diciembre y febrero. Durante estos meses, el costo de los productos en los mercados y ferias de La Paz y El Alto es elevado, lo que refleja una demanda significativa. Las últimas siembras se efectúan en noviembre en áreas sin riego, lo que puede limitar el rendimiento y la calidad del cultivo debido a la falta de disponibilidad de agua durante la fase crítica de desarrollo.

Tabla 2.14. Calendario de siembra del haba de la zona de Sojsaña

ACTIVIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Preparado del suelo:												
Siembra:												
Crecimiento:												
Cosecha:												
Descanso del suelo:												

Tabla 2.15. Calendario de siembra de la arveja de la zona de Sojsaña

ACTIVIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Preparado del suelo:												
Siembra:												
Crecimiento:												
Cosecha:												
Descanso del suelo:												

Las Tabla 2.14 y Tabla 2.15 proporcionan una guía general para la siembra de arveja y haba en la zona de Sojsaña, basada en las prácticas y condiciones locales.

2.3.5. *Cultivo de hortalizas*

Los productores de la zona Sojsaña cultivan hortalizas con el objetivo de mejorar los ingresos familiares, destinando la mayor parte de la producción a la comercialización. Las especies cultivadas incluyen lechuga, nabo, rábano, zanahoria y cebolla, mientras que acelga, perejil, repollo y coliflor se cultivan en menor proporción. La lechuga y la zanahoria se destacan como los cultivos más rentables, y la época de siembra se ajusta en función de la demanda del mercado.

La demanda de hortalizas de alta calidad ha aumentado recientemente, lo que subraya la importancia de adaptar las prácticas de cultivo a las necesidades del mercado. El calendario de la Tabla 2.16 proporciona una guía para la gestión de cultivos de hortalizas en la zona de Sojsaña, optimizando el uso del suelo y ajustándose a la demanda del mercado local.

Tabla 2.16. Calendario de siembra de las hortalizas de la zona de Sojsaña

ACTIVIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Preparado del suelo:												
Siembra:												
Crecimiento:												
Cosecha:												

2.4. RIEGOS CLIMÁTICOS

2.4.1. Granizos

El granizo es un fenómeno natural de origen meteorológico que representa una amenaza para diferentes sectores productivos, siendo indudablemente el sector agrícola el más vulnerable debido a su potencial para afectar cultivos y plantaciones. En la zona de Sojsaña, la presencia de granizo es de intensidades muy variables, desde las más altas, que pueden provocar daños significativos en la agricultura y la ganadería, hasta las más leves.

Los meses con mayores posibilidades de granizo son enero y febrero, según mencionan los pobladores de la zona. La Tabla 2.17 proporciona una referencia para la planificación de cultivos y la toma de medidas de prevención contra el daño por granizo en la zona.

Tabla 2.17. Granizos en la zona de Sojsaña

MES	FRECUENCIA DE GRANIZO
Enero:	[●] Muy Alta
Febrero:	[●] Muy Alta
Marzo:	[●] Alta
Abril:	[●] Moderada
Mayo:	[●] Baja a Muy baja
Junio:	[●] Baja a Muy baja
Julio:	[●] Baja a Muy baja
Agosto:	[●] Baja a Muy baja
Septiembre:	[●] Baja a Muy baja
Octubre:	[●] Baja
Noviembre:	[●] Moderada
Diciembre:	[●] Alta

2.4.2. Sequias

La sequía es un fenómeno climático que afecta gravemente a la agricultura en diversas regiones del mundo, provocando una reducción significativa en los rendimientos de los cultivos. Aunque la sequía extrema al inicio del ciclo de los cultivos puede no afectar tanto los rendimientos, la frecuencia de sequías severas, especialmente cuando se manifiestan durante períodos prolongados de hasta tres meses consecutivos, puede tener impactos considerablemente negativos.

En la zona de Sojsaña, las sequías son relativamente escasas debido a varios factores. Sin embargo, la rápida evaporación desde el suelo y las plantas, junto con las altas temperaturas derivadas del cambio climático global, contribuyen a alteraciones en las condiciones climáticas generales. Estos factores pueden provocar períodos prolongados de sequía, que afectan negativamente a grandes extensiones de cultivos.

Para enfrentar estos desafíos, es crucial contar con herramientas y datos que permitan una planificación agrícola adecuada y una gestión eficiente del agua. En este contexto, la Tabla 2.18 a continuación ofrece una guía para la planificación agrícola y la gestión del agua en la zona de Sojsaña, proporcionando a los agricultores y responsables de la gestión de recursos una referencia para prepararse mejor frente a posibles sequías.

Tabla 2.18. Sequias en la zona de Sojsaña

MES	FRECUENCIA DE SEQUIAS
Enero:	[●] Baja
Febrero:	[●] Baja
Marzo:	[●] Moderada
Abril:	[●] Alta
Mayo:	[●] Alta
Junio:	[●] Muy Alta
Julio:	[●] Muy Alta
Agosto:	[●] Muy Alta
Septiembre:	[●] Alta
Octubre:	[●] Moderada
Noviembre:	[●] Moderada
Diciembre:	[●] Baja

2.4.3. Heladas

Las heladas son un fenómeno climático que presenta un grave riesgo para la agricultura en diversas regiones del mundo, incluida la zona de Sojsaña. Este fenómeno es particularmente problemático en sectores del altiplano y cabeceras de valle, donde las heladas son frecuentes y

afectan considerablemente la producción agropecuaria. Aunque la mayor incidencia de heladas ocurre entre los meses de mayo y agosto, las condiciones climáticas impredecibles debido al cambio climático han llevado a que las heladas puedan presentarse en cualquier mes del año. Esto, combinado con periodos de sequía, resulta en pérdidas significativas para el sector agrícola.

Para enfrentar estos desafíos, es esencial contar con herramientas y datos adecuados para la planificación agrícola y la protección de cultivos. En este contexto, la Tabla 2.19 a continuación ofrece una guía para la planificación y protección de cultivos en la zona de Sojsaña, proporcionando a los agricultores las herramientas necesarias para tomar medidas preventivas y mitigar los efectos adversos de las heladas.

Tabla 2.19. Heladas en la zona de Sojsaña

MES	FRECUENCIA DE HELADAS
Enero:	[●] Baja
Febrero:	[●] Baja
Marzo:	[●] Moderada
Abril:	[●] Alta
Mayo:	[●] Muy Alta
Junio:	[●] Muy Alta
Julio:	[●] Muy Alta
Agosto:	[●] Moderada
Septiembre:	[●] Moderada
Octubre:	[●] Baja
Noviembre:	[●] Baja
Diciembre:	[●] Baja

CAPITULO III. MARCO TEÓRICO

3.1. ELABORACIÓN Y DISEÑO DE PROYECTOS

La elaboración y diseño de proyectos en Bolivia constituye un proceso estratégico y metodológico orientado a la planificación estructurada de iniciativas destinadas a resolver necesidades locales. Este proceso implica una serie de etapas fundamentales que incluyen la identificación y análisis de problemas específicos, la formulación de objetivos claros y alcanzables, y la ejecución de actividades planificadas para lograr los resultados esperados. La planificación de proyectos en el contexto boliviano se caracteriza por la adaptación a las particularidades locales, considerando factores socioeconómicos, ambientales y culturales que pueden influir en la eficacia y sostenibilidad de las intervenciones propuestas. La metodología empleada busca asegurar la pertinencia y viabilidad de las soluciones planteadas, promoviendo la optimización de recursos y la participación activa de las comunidades involucradas.

3.1.1. *Proyectos de inversión pública en Bolivia*

Los proyectos de inversión pública en Bolivia comprenden un conjunto de actividades desarrolladas con recursos públicos con el fin de alcanzar resultados específicos. Estos proyectos están orientados a la creación, ampliación, reposición, mejora y/o recuperación de capacidades productivas, económicas, sociales, culturales y ambientales del Estado, dentro de un período determinado. La ejecución de estos proyectos sigue una programación físico-financiera y se ubica en una localización específica.

Además, es crucial considerar la trayectoria del ciclo de vida de los proyectos de inversión pública. La programación de inversiones para el período 2015 – 2025 está regulada por el Reglamento Básico de Preinversión, que establece directrices para la planificación, ejecución y evaluación de los proyectos. Esta programación asegura que los proyectos se alineen con los objetivos de desarrollo nacional y regional, y se visualiza en la Figura 3.1.



Figura 3.1. Trayectoria del ciclo de vida de inversión pública

Fuente: Reglamento Básico de Preinversión - VIPFE, 2015.

3.1.2. Ciclo de los proyectos de riego

3.1.2.1. Fases del ciclo de los proyectos de inversión pública

Según las Normas Básicas del Sistema Nacional de Inversión Pública – SNIP (2003), el ciclo de los proyectos de inversión pública se divide en varias fases esenciales. Estas fases están diseñadas para garantizar una planificación, ejecución y evaluación efectivas de los proyectos. La Figura 3.2 ilustra las diferentes etapas del ciclo de vida de los proyectos de inversión pública, destacando desde la concepción inicial hasta la evaluación final de los resultados. Este enfoque estructurado permite una gestión eficiente de los recursos y asegura que los proyectos se alineen con los objetivos de desarrollo establecidos.



Figura 3.2. Fases del ciclo de los proyectos de inversión pública

Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego – 2018.

3.1.2.2. Tipología de los proyectos de preinversión

De acuerdo con el Ministerio de Planificación y Desarrollo en el Reglamento Básico de Preinversión – RBP (2015). Artículo 8, los estudios de diseño técnico de preinversión se clasifican según la tipología de proyectos, respondiendo a sus objetivos y características específicas. Esta clasificación permite adaptar los estudios de preinversión a las diferentes necesidades y naturaleza de los proyectos. El Cuadro 3.1 proporciona una visión detallada de las diferentes tipologías de proyectos, facilitando la correcta aplicación de los estudios de preinversión en función de los objetivos planteados.

Cuadro 3.1. Tipología de proyectos

DESCRIPCIÓN	TIPOLOGÍA DE PROYECTOS			
	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV y TIPO V
	Proyecto de Desarrollo Empresarial Productivo	Proyectos de Apoyo al Desarrollo Productivo	Proyecto del Desarrollo Social	Proyectos de Fortalecimiento Institucional, y de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Metodología de evaluación	Costo beneficio	Costo beneficio Costo eficiencia	Costo eficiencia	
Indicador de evaluación	Valor actual neto financiero	Valor actual neto económico Indicador costo eficiencia	Indicador costo eficiencia	Evaluación de pertinencia coherencia y/o análisis multicriterio del proyecto.
Otras metodologías de evaluaciones		Análisis multicriterio	Análisis multicriterio	
Ejemplos	Productos de: Agroindustria, metalúrgicos, hidrocarburos, comunicaciones, lácteos, etc.	Caminos, puentes, aeropuertos, represas, plantas hidroeléctricas, sistemas de riego, etc.	Alcantarillado, energía eléctrica, centro de hospitales, centros educativos, viviendas sociales, campos deportivos, centros culturales	

Fuente: Ministerio de Planificación y Desarrollo, 2015.

3.1.2.3. EDTP para proyectos de sistemas de riego.

Según las Normas Básicas del Sistema Nacional de Inversión Pública – SNIP (2003), en el Artículo 10, el Estudio de Diseño de Preinversión para Proyectos de Apoyo al Desarrollo Productivo se centra en proyectos destinados a crear o mejorar las condiciones para la actividad productiva en el país. Este tipo de estudio se enfoca en incrementar el capital físico mediante inversiones en infraestructura y equipamiento, así como en capacitación si es necesario. Ejemplos de estos proyectos incluyen la construcción y mejora de caminos, puentes, aeropuertos, represas, plantas hidroeléctricas, sistemas de riego y centros de extensión agropecuaria, entre otros.

3.1.2.4. Secuencia de los estudios de preinversión para proyectos de sistemas de riego.

La secuencia de estudios de preinversión para proyectos de sistemas de riego comienza con la elaboración del Informe Técnico de Condiciones Previas (ITCP). Este informe es fundamental, ya

que las conclusiones y recomendaciones del ITCP determinan el alcance técnico de los Términos de Referencia (TDRs), que son esenciales para la planificación y ejecución del proyecto. La elaboración de los TDRs se basa en los hallazgos del ITCP y establece los parámetros y especificaciones necesarios para los estudios y diseños subsiguientes del sistema de riego Figura 3.3.



Figura 3.3. Proceso clave del EDTP

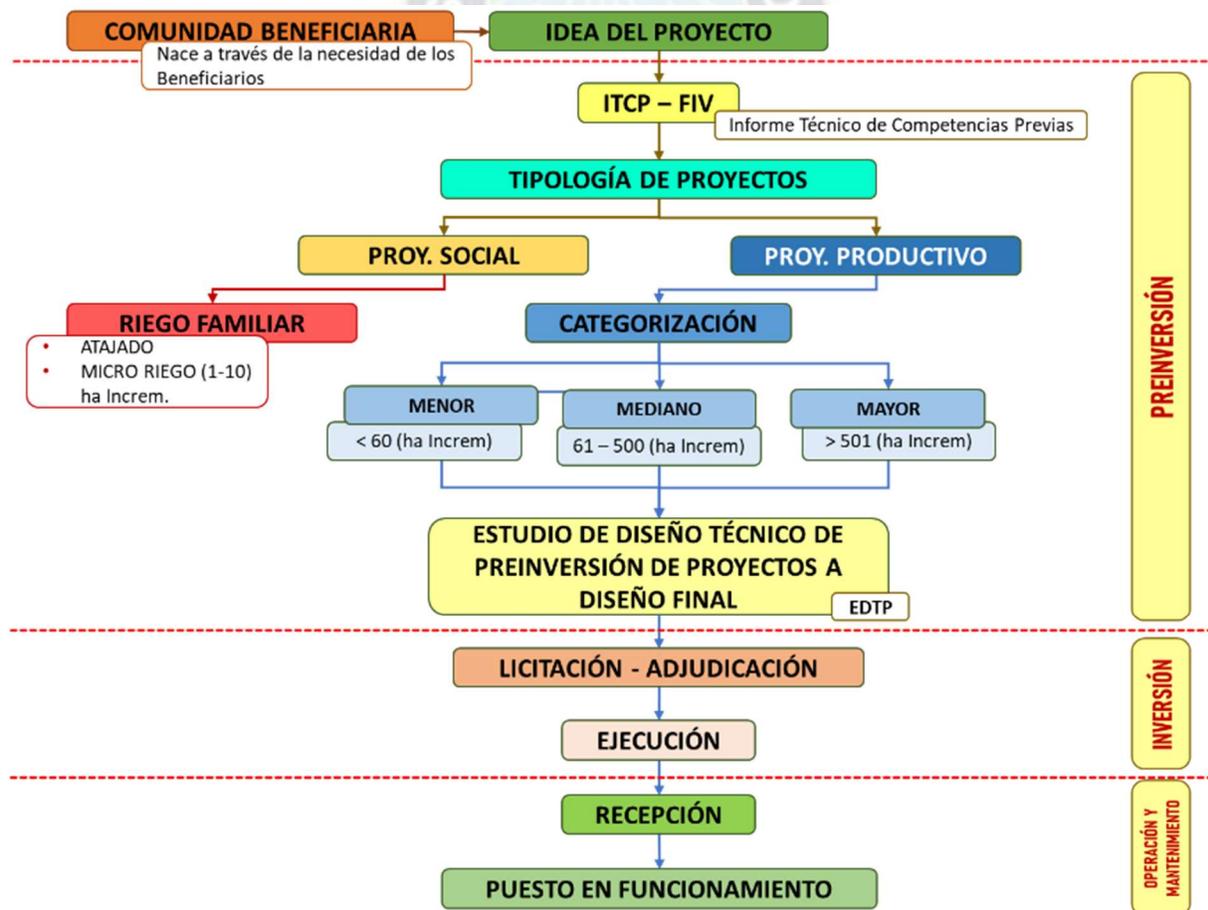


Figura 3.4. Secuencia de los estudios de preinversión para proyectos de sistemas de riego

Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos, 2018.

Una correcta elaboración de los TDRs facilita la adecuada ejecución y seguimiento del Estudio de Diseño Técnico de Preinversión (EDTP). A su vez, una elaboración meticulosa del EDTP contribuye a una ejecución y seguimiento efectivos en la Fase de Inversión del proyecto Figura 3.4.

3.2. RECURSOS HÍDRICOS

Los recursos hídricos comprenden todas las fuentes de agua dulce disponibles en la Tierra, tanto superficiales como subterráneas. Estas fuentes son fundamentales para la vida humana y el mantenimiento de los ecosistemas naturales. Los recursos superficiales incluyen ríos, lagos y embalses, mientras que los recursos subterráneos están formados por acuíferos y manantiales que se encuentran bajo la superficie terrestre.

En contexto de un proyecto de riego tecnificado, los recursos hídricos se refieren a las fuentes y cantidades de agua disponible que se utilizan para riego de los cultivos. Estos recursos son esenciales para el diseño y la implementación efectiva del sistema de riego, ya que influye en la planificación y en la eficiencia del uso del agua.

3.3. FUENTES DE AGUA

3.3.1. Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son aquellas que se encuentran debajo de la superficie terrestre, almacenadas en el subsuelo en formaciones de roca porosa y permeable, conocidas como acuíferos. Estas aguas se infiltran desde la superficie a través del suelo y las rocas debido a la gravedad, y se acumulan en espacios porosos entre partículas de suelo y rocas, o en fracturas y cavidades en formaciones rocosas más duras Figura 3.5. Estos recursos subterráneos son preferidos por varias razones:

- **Origen y Recarga:** Las aguas subterráneas se recargan principalmente a través de la infiltración de agua de lluvia o de cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos), que se filtra hacia abajo a través del suelo y las formaciones rocosas.
- **Formación de acuíferos:** Se almacenan en acuíferos, que pueden ser de dos tipos:
 - **Acuíferos libres (o no confinados):** Donde el agua está en contacto directo con la superficie terrestre.

- **Acuíferos confinados:** Donde el agua está atrapada entre dos capas de material menos permeable, como arcillas o lutitas.
- **Propiedades:**
 - **Permeabilidad:** Capacidad del material para permitir el paso del agua. Los acuíferos deben ser permeables para permitir que el agua se mueva a través de ellos.
 - **Porosidad:** Cantidad de espacio vacío en el material que puede almacenar agua.
- **Calidad del Agua:** Generalmente, el agua subterránea presenta una calidad superior en comparación con las fuentes superficiales. Esto se debe a que el agua subterránea pasa a través de capas de suelo y rocas que actúan como filtros naturales, reduciendo la presencia de contaminantes y sedimentos en suspensión (Fetter, C.W. "Applied Hydrogeology", 2001).
- **Menor Contenido de Sedimentos:** El agua subterránea, al pasar a través de formaciones geológicas, tiene menos sedimentos en suspensión, lo que facilita su uso en sistemas de agua potable y reduce la necesidad de tratamiento adicional (Bear, J. "Hydraulics of Groundwater", 1979).
- **Usos:** Se utilizan para abastecimiento de agua potable, riego agrícola, procesos industriales y como fuente de agua en regiones donde los recursos superficiales son limitados.
- **Seguridad en el Diseño de Infraestructura:** Los manantiales y acuíferos que emergen en la superficie proporcionan una fuente constante y predecible de agua, lo que facilita el diseño y la planificación de infraestructuras relacionadas con el suministro y la gestión del agua (Schwartz, F. & Zhang, H. "Fundamentals of Ground Water", 2003).
- **Problemas potenciales:**
 - **Sobreexplotación:** La extracción excesiva puede reducir el nivel del agua y afectar el suministro.

- **Contaminación:** Puede provenir de fuentes industriales, agrícolas o residenciales, afectando la calidad del agua.

Esta información resalta la importancia de considerar las fuentes de agua subterránea en la planificación y gestión de proyectos hídricos, especialmente en áreas donde la disponibilidad de recursos superficiales es limitada o insuficiente. La adecuada utilización y protección de estos recursos es esencial para garantizar un suministro estable y seguro de agua para diversas aplicaciones, incluyendo el abastecimiento urbano, la agricultura y la preservación del medio ambiente.



Figura 3.5. El agua subterránea como parte del ciclo hidrológico

Fuente: <http://www.madrimasd.org>, 2007

3.3.2. Manantiales

Un manantial o vertiente se define como un punto o zona en la superficie terrestre donde brota o aflora de manera natural una cantidad determinada de agua proveniente de un acuífero subterráneo (Custodio y Llamas, 2001). Este fenómeno ocurre cuando el agua subterránea, que ha sido infiltrada y almacenada en el subsuelo, encuentra un camino para emerger en la superficie.

El proceso que lleva al afloramiento del agua se inicia cuando una fracción de las precipitaciones, caídas en las zonas altas de una cuenca hidrográfica, se infiltra en el suelo. El agua infiltrada se desplaza bajo la superficie principalmente por acción de la gravedad a través de distintos materiales geológicos, tales como estratos de grava, arena, ripio y fisuras en las rocas. Durante su recorrido subterráneo, el agua puede encontrar capas o estratos con baja permeabilidad, como las formaciones de arcilla, que actúan como barreras que retienen el agua y crean un acuífero saturado.

Un acuífero es una formación geológica que contiene una cantidad significativa de agua en su interior y que permite el movimiento horizontal del agua. Cuando el agua subterránea alcanza un estrato impermeable en su trayectoria, el acuífero se forma en la zona superior de este estrato. La presión y la acumulación del agua en el acuífero generan un flujo que eventualmente lleva el agua a la superficie en zonas de afloramiento, creando manantiales o vertientes. Este afloramiento puede ocurrir en diversos lugares y distancias de la zona original de recarga, dependiendo de la topografía y las características del acuífero (Morris, 2005).

Los manantiales son de particular importancia para el abastecimiento de agua en áreas rurales y semiáridas, ya que proporcionan una fuente natural y continua de agua, sin requerir infraestructura compleja para su extracción. Además, el agua que emerge en forma de manantial suele tener una calidad superior debido a su filtración natural a través de los estratos geológicos, lo que reduce la presencia de sedimentos y contaminantes (Freeze y Cherry, 1979).

Comprender el funcionamiento y la clasificación de los manantiales es crucial para el diseño e implementación de sistemas de riego y gestión de recursos hídricos. La identificación y caracterización de estos manantiales permiten planificar estrategias eficientes para el uso del agua en la agricultura y otras actividades productivas, optimizando así los recursos disponibles y mejorando la sostenibilidad de los sistemas de riego.

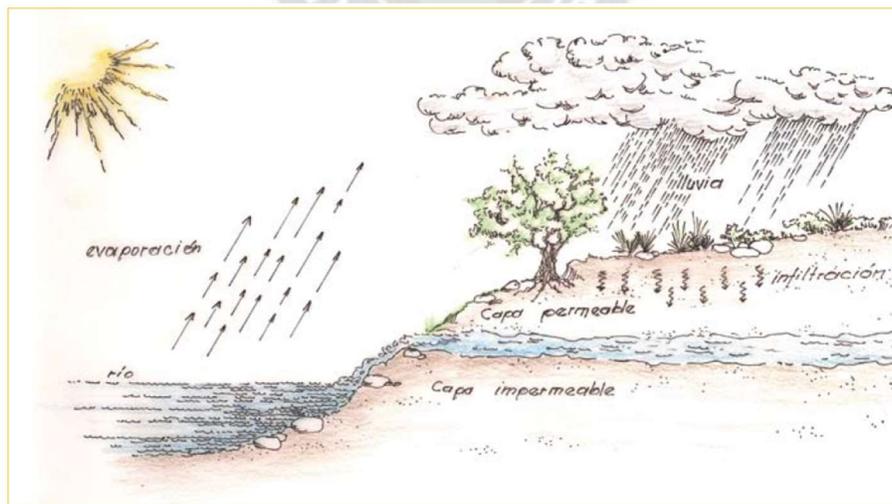


Figura 3.6. Ciclo del agua subterránea que se manifiesta en forma de manantial

Fuente: García, 2011

La Figura 3.6 ilustra el proceso de afloramiento del agua subterránea, mientras que Figura 3.7 muestra la clasificación de los manantiales según sus características y flujo.

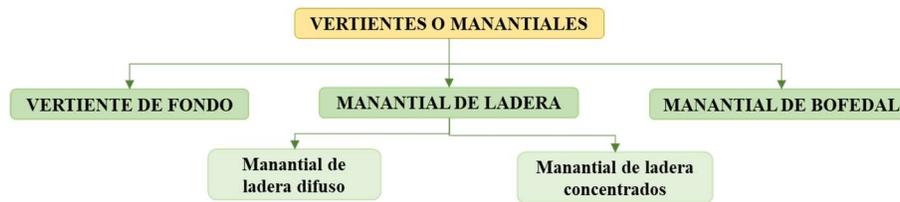


Figura 3.7. Clasificación de vertientes

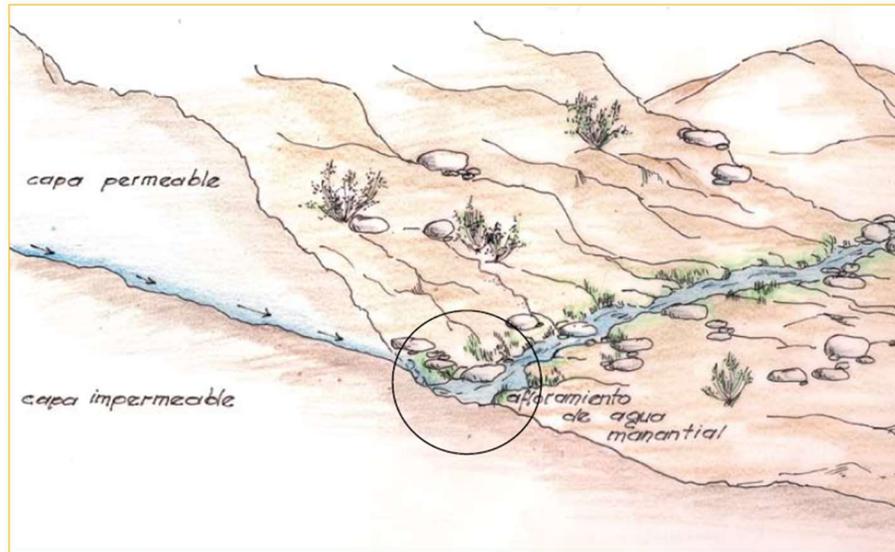
Fuente: García, 2011

3.3.3. Manantiales de ladera

Los manantiales o vertientes se definen como puntos, zonas o lugares en la superficie del terreno donde fluye o aflora naturalmente una cantidad determinada de agua proveniente de un acuífero. En el caso de los manantiales tipo ladera, estos emergen en las laderas de los cerros debido a la acción de la gravedad, un fenómeno común en las regiones altoandinas y otras áreas montañosas. El proceso comienza cuando una fracción de las precipitaciones ocurridas en las partes altas de las cuencas se infiltra en el suelo. El agua infiltrada se desplaza subterráneamente a través de distintos materiales permeables, como estratos de grava, ripio, arena o fisuras en las rocas.

En su recorrido, el agua subterránea puede encontrarse con un estrato o material menos permeable, como una capa de arcilla, lo que provoca la acumulación de agua sobre dicho estrato, formando un acuífero. A medida que el agua se mueve horizontalmente dentro del acuífero y en función del relieve, puede reaparecer en la superficie en sitios más o menos alejados de la zona de recarga original. Estos puntos de surgencia, donde el agua subterránea sale naturalmente a la superficie sin intervención humana, se conocen como manantiales de ladera.

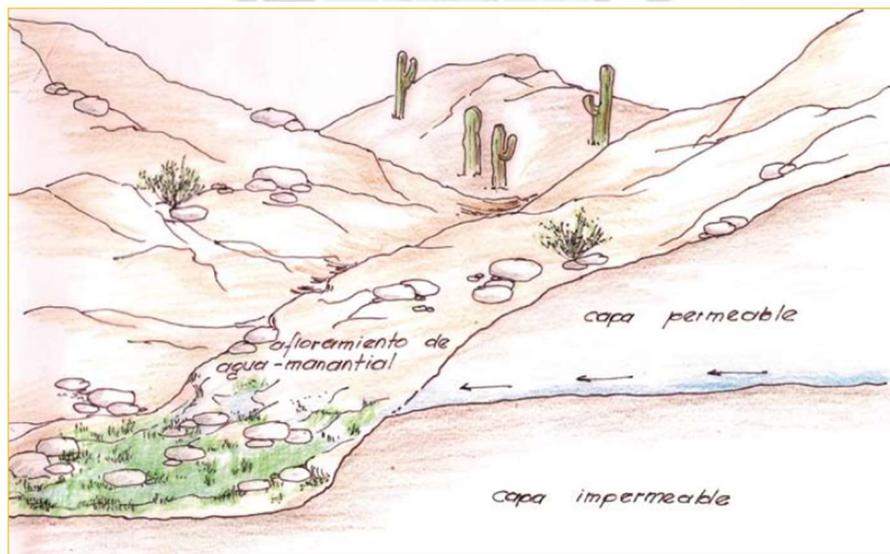
Los manantiales de ladera se clasifican principalmente en dos tipos: manantiales difusos Figura 3.8, donde el agua emerge de manera dispersa a lo largo de la ladera, y manantiales concentrados Figura 3.9, que surgen en puntos específicos y forman corrientes más definidas. Estos manantiales son vitales para el abastecimiento de agua en la zona del proyecto, proporcionando una fuente constante y confiable para diversos usos, incluyendo el riego tecnificado. En este contexto, la disponibilidad y el manejo adecuado de los manantiales tipo ladera son cruciales para la eficiencia del sistema de riego y el desarrollo agrícola sostenible.



Nota: El agua aflora en superficie en un punto definido (Manantial de ladera concentrado)

Figura 3.8. Manantial de ladera concentrado

Fuente: (García, 2011)



Nota: El agua aflora en superficie en un sector amplio (Manantial de ladera difuso)

Figura 3.9. Manantial de ladera difuso

Fuente: (García, 2011)

3.3.4. Recargas de los manantiales

Los manantiales tipo ladera son fuentes de agua que emergen en las laderas de cerros o montañas debido a la acumulación de agua subterránea. La recarga de estos manantiales ocurre a través de dos principales mecanismos:

a) Recarga natural

- **Proceso:** La recarga natural de los manantiales tipo ladera se produce cuando el agua de lluvia o deshielo se infiltra en el suelo de las áreas altas y se mueve hacia abajo a través de la superficie terreno
- **Factores clave:**
 - **Precipitación:** La cantidad y distribución de la precipitación en la cuenca alfa afectan la cantidad de agua para recargar el acuífero subyacente.
 - **Permeabilidad del Suelo:** Suelos con alta permeabilidad facilitan la infiltración del agua y su movimiento hacia el acuífero.
 - **Topografía:** La inclinación de las laderas influye en la dirección y velocidad del flujo subterráneo de agua.
 - **Cobertura Vegetal:** La vegetación en las laderas ayuda a reducir la escorrentía y mejora la infiltración al mantener el suelo suelto y permitir una mayor absorción de agua.

b) Recarga artificial:

- **Proceso:** En algunos casos, se realizan intervenciones humanas para aumentar la recarga de los acuíferos que alimentan a los manantiales tipo ladera.
- **Métodos comunes:**
 - **Inundación Controlada:** Se crean áreas de inundación en terrenos permeables para permitir que el agua se infiltre y recargue el acuífero.
 - **Pozos de Inyección:** Se inyecta agua directamente en el acuífero a través de pozos perforados para elevar el nivel freático.
 - **Acuíferos Artificiales:** Se construyen estructuras para almacenar agua en el subsuelo, que luego se infiltra en el acuífero.

La correcta gestión de estos procesos es crucial para mantener la sustentabilidad de los manantiales tipo ladera, especialmente en regiones donde se utilizan como fuentes de agua para

riego tecnificado y otras aplicaciones. La comprensión de los mecanismos de recarga permite optimizar el uso de los recursos hídricos y garantizar un suministro estable de agua.

3.3.5. Demanda de agua para riego

La demanda de agua para riego es un concepto fundamental en la planificación y diseño de sistemas de riego tecnificado. Se refiere a la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos a lo largo de su ciclo de crecimiento. Esta demanda está influenciada por una serie de factores clave, como la disponibilidad de agua en cantidad y calidad, las características climáticas (incluyendo la temperatura, la humedad y la precipitación), las propiedades del suelo (como su textura, estructura y capacidad de retención de agua), y las características específicas de los cultivos (sus requerimientos hídricos y etapas de desarrollo). Además, aspectos sociales, como la capacidad de gestión de los recursos por parte de la comunidad, y la disponibilidad de tecnología y maquinaria también juegan un papel relevante.

En la elaboración y diseño de proyectos de riego tecnificado, la determinación precisa de la demanda de agua es uno de los factores más críticos. Esta determinación permite ajustar las necesidades de riego de los cultivos a las condiciones específicas del área del proyecto, como la variabilidad en las precipitaciones y las características del suelo. La correcta estimación de la demanda de agua no solo asegura un suministro adecuado para los cultivos, sino que también contribuye a la eficiencia y sostenibilidad del uso del recurso hídrico, optimizando el rendimiento agrícola y minimizando el desperdicio de agua.

3.3.6. Medición de caudales

3.3.6.1. Método Volumétrico o Indirecto

La determinación de caudales mediante el método volumétrico es un procedimiento sencillo y directo utilizado principalmente para medir caudales pequeños, como los de manantiales o vertientes en proyectos de riego. Este método se basa en capturar el agua en un recipiente de volumen conocido y medir el tiempo necesario para llenarlo.

En la práctica, es recomendable disponer, como mínimo, de datos de los caudales durante las épocas más críticas, tanto en temporadas de estiaje como en temporadas de lluvias. Esto permitirá determinar los caudales máximos y mínimos disponibles para el proyecto.

Para llevar a cabo estas mediciones, se utilizan aforos que consideran la constancia de los caudales, los cuales presentan cambios mínimos durante la temporada de lluvias. El procedimiento comúnmente empleado consiste en utilizar un recipiente de volumen conocido y medir el tiempo necesario para llenarlo, expresado en segundos, como se ilustra en la Figura 3.10 y Figura 3.11. Esta medición debe repetirse al menos tres veces, y se calcula un promedio del tiempo registrado.

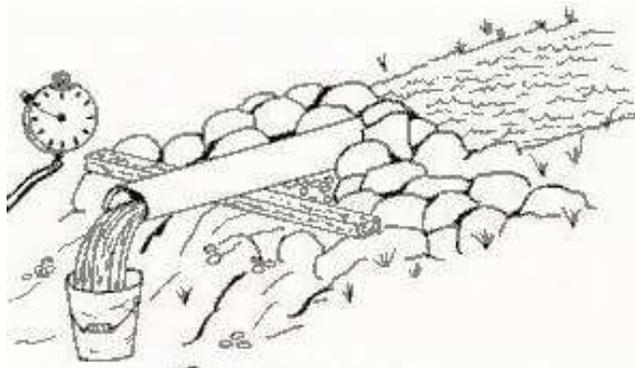


Figura 3.10. Aforamiento volumétrico

Fuente: <https://docplayer.es/docs-images/87/97239128/images/113-0.jpg>



Figura 3.11. Aforamiento volumétrico de la zona de Sojsaña

El caudal del manantial o vertiente se determina aplicando la siguiente expresión:

El **caudal** se determina a partir de la medición del **volumen de agua** (litros, metros cúbicos, etc.) y del **tiempo** que demora en completar esa cantidad (segundos, minutos, etc.).

$$\text{Caudal (Q)} = \frac{\text{volumen (V)} \quad [\text{litros}]}{\text{tiempo (t)} \quad [\text{segundos}]}$$

Donde:

Caudal (Q): litros/minutos; litros/segundo.

Volumen (V): litros del recipiente utilizado.

Tiempo (t): tiempo en se llenó un volumen determinado (por ejemplo, el recipiente utilizado).

3.3.7. Necesidades hídricas

3.3.7.1. Requerimiento hídrico

El requerimiento hídrico se refiere a la cantidad total de agua que un cultivo necesita para completar su ciclo de crecimiento y desarrollo, desde la siembra hasta la cosecha, bajo condiciones óptimas de crecimiento. Este requerimiento incluye el agua necesaria para la evapotranspiración (que es la suma de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas) y cualquier otra pérdida de agua que ocurra en el proceso.

Es la diferencia entre el requerimiento de agua del cultivo (ET_c) y esa parte de la precipitación que puede ser usada por el cultivo "precipitación efectiva" (FAO, 1986).

$$I = \text{Req. agua cultivo} - \text{agua disp. precipitación}$$

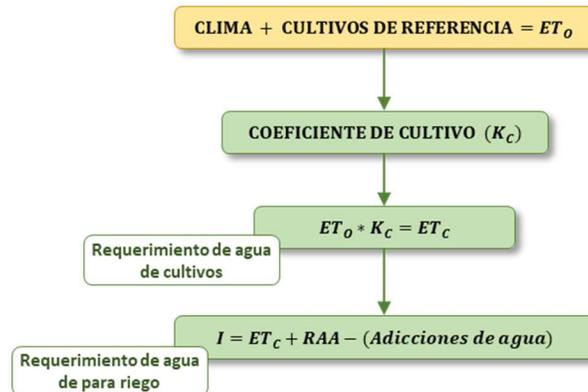
Pero, además los cultivos requieren de agua para otros fines:

- Precipitación del terreno.
- Requerimientos agronómicos del cultivo.
- Manejo del suelo.

Los factores que influyen en el requerimiento hídrico de un cultivo incluyen:

- **Condiciones climáticas:** Temperatura, humedad relativa, radiación solar, y velocidad del viento influyen en la tasa de evapotranspiración.
- **Tipo de cultivo:** Diferentes cultivos tienen diferentes requerimientos de agua debido a sus características fisiológicas y fenológicas.
- **Etapas de crecimiento:** Las necesidades de agua varían a lo largo del ciclo de vida del cultivo, siendo generalmente más altas durante las etapas de desarrollo vegetativo y floración.
- **Condiciones del suelo:** La capacidad de retención de agua del suelo, su textura, y la profundidad de la raíz del cultivo también afectan la cantidad de agua que debe aplicarse.

El requerimiento hídrico es un concepto clave en la gestión del riego, ya que permite determinar la cantidad y frecuencia de riego necesarias para satisfacer las necesidades de los cultivos, asegurando su crecimiento óptimo y maximizando la eficiencia en el uso del agua. En otras palabras, el requerimiento hídrico lo podemos interpretar de la siguiente manera:



Donde el requerimiento hídrico se determina por la siguiente ecuación:

$I_n = ET_c + RAA - (PP_{eff} + A_{SS} + A_S)$	$I_n: \text{Requerimiento de riego neto (mm/d)}$ $ET_c: \text{Evapotranspiración de cultivo (mm/d)}$ $RAA: \text{Requerimiento adicionales de agua (mm/d)}$ $pp_{eff}: \text{Precipitación efectiva (mm/d)}$ $A_{SS}: \text{Requerimiento de riego neto (mm/d)}$ $A_S: \text{Agua almacenada en el suelo (mm/d)}$
Para fines de diseño y planificación:	
$I_n = ET_c - (PP_{eff})$	

3.3.8. Calidad de agua para fines de riego

3.3.8.1. Parámetros de evaluación del agua para riego

La calidad agronómica del agua para riego es un aspecto crucial en la agricultura, ya que está determinada por la calidad agronómica del agua por la cantidad y el tipo de sales disueltas en el agua. Este factor influye de manera significativa en la selección de la tecnología de riego y en la elección de los cultivos a cultivar. Las propiedades químicas y físicas del agua determinan su idoneidad para el uso en riego. A diferencia de los estándares para agua potable, los criterios de calidad del agua para riego pueden variar considerablemente en función del tipo de cultivo, dado que cada cultivo tiene diferentes susceptibilidades a minerales y propiedades específicas del agua.

El agua de riego contiene nutrientes esenciales como calcio, sulfatos y magnesio, pero también puede presentar elementos no deseables como sodio y cloro. Por ello, es fundamental realizar un análisis exhaustivo del agua de riego para evaluar tanto los nutrientes presentes como la concentración de elementos indeseables. Estos análisis proporcionan la información necesaria para desarrollar un plan de manejo nutricional adecuado, permitiendo aportar únicamente los nutrientes que faltan para el óptimo crecimiento y desarrollo del cultivo, ya sea en campo abierto o en invernadero.

La evaluación de la calidad del agua para riego se basa en parámetros y propiedades químicas específicas. La cantidad mínima recomendada de muestra de agua para el análisis es de 600 a 1000 ml, y esta debe ser representativa del área de estudio. Las muestras deben ser almacenadas en refrigeración a una temperatura máxima de 5 °C durante un periodo no mayor a 4 a 5 días antes de su análisis.

Los parámetros recomendados para la calidad del agua con fines de riego pueden variar según el tipo de cultivo, las características del suelo y las condiciones específicas de la zona. Sin embargo, en la Cuadro 3.2 se presentan algunos parámetros generales recomendables para aguas superficiales.

Cuadro 3.2. Parámetros de evaluación del agua para riego

PARÁMETROS PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA CON FINES DE RIEGO	
pH *	Magnesio *
Conductividad eléctrica (CE) *	Sodio *
Niveles de calcio o calcio *	Potasio *
Para riego tecnificado adicionalmente:	
Sólidos disueltos	Sólidos suspendidos
Sólidos totales	

Fuente: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2018.

Los parámetros recomendados para la calidad del agua con fines de riego pueden variar según el tipo de cultivo, las características del suelo y las condiciones específicas de la zona. Sin embargo, en la Tabla 3.1 se presentan algunos parámetros generales recomendables para aguas superficiales.

Tabla 3.1. Límites permisibles en cuerpos de aguas superficiales

PARÁMETRO	UNIDAD	CONSUMO		
		HUMANO	ANIMAL	RIEGO
Temperatura	° C	SI	SI	SI
C.E.	mS/cm	0,1 – 1,0	1,5	1,5
pH	-	6,5 – 8,5	6,5 – 9,0	5,5 – 9,0
T.D.S.	mg/L	500 - 1500	5000	500 – 3500
OD	mg/L	> 4	> 4	> 4
Tasa de saturación	%	SI	SI	SI
Alcalinidad Total	mg/L	610	SI	SI
Bicarbonatos	mg/L	SI	SI	280
Carbonatos	mg/L	Solo aparece a partir de pH 8.3	SI	75
Fosfatos	mg/L	3,5	7	65
Nitratos	mg/L	40	50	40
Cloruros	mg/L	250	400	400
Sulfatos	mg/L	400	800	400
Calcio	mg/L	200	SI	SI
Magnesio	mg/L	100	SI	200
Sodio	mg/L	120	200	300
Potasio	mg/L	1000	SI	SI
Hierro	mg/L	0,3	1,0	5
Manganeso	mg/L	0,3	1,0	0,5 – 5,0
Arsénico	mg/L	0,05	0,2	0,1 – 2,0
Cobre	mg/L	1	0,1	0,2
Plomo	mg/L	0,05	0,1	5,0 – 10,0
Zinc	mg/L	5	5	5

Fuente: Guía para la calidad del agua potable (OMS, 1995).

3.3.8.2. Clasificación de agua de riego según su calidad

La calidad del agua de riego es un factor crítico que influye en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Una alta concentración de sales en el agua de riego puede reducir la disponibilidad de agua en el suelo, lo que provoca un estrés fisiológico en las plantas, manifestado en deshidratación y deterioro del crecimiento. Además, el sodio, cuando está presente en elevadas concentraciones en el agua de riego, puede deteriorar la estructura del suelo. El sodio afecta negativamente la agregación del suelo, reduciendo la infiltración de agua en el perfil del suelo y, por ende, la eficiencia del riego (Chirinos, 2001).

3.3.8.2.1. Clasificación del Agua de Riego según la Relación de Absorción de Sodio (RAS) y Conductividad Eléctrica (CE)

De acuerdo con Cánovas (1978), citado por Garzón (2002), la clasificación del agua de riego se basa en dos parámetros principales: la Relación de Absorción de Sodio (RAS) y la Conductividad

Eléctrica (CE). Estos parámetros determinan la aptitud del agua para el riego y ayudan a seleccionar las prácticas de manejo adecuadas.

3.3.8.2.2. Clasificación según la Relación de Absorción de Sodio (RAS):

1. **Clase S1:** Agua baja en sodio. Es adecuada para la mayoría de los cultivos y suelos. La RAS varía entre 0 – 10 [meq/l].
2. **Clase S2:** Agua con contenido medio de sodio. Apta para suelos de textura gruesa o suelos orgánicos con buena permeabilidad. La RAS varía entre 10 – 18 [meq/l].
3. **Clase S3:** Agua alta en sodio. Puede causar niveles tóxicos en la mayoría de los suelos, requiriendo prácticas especiales de manejo. La RAS varía entre 18 – 26 [meq/l].
4. **Clase S4:** Agua con muy alto contenido de sodio. No es adecuada para riego, a menos que su CE sea baja. La aplicación de yeso sería antieconómica. La RAS es mayor de 26 [meq/l].

3.3.8.2.3. Clasificación según la Conductividad Eléctrica (CE):

1. **Clase 1:** Agua de baja salinidad. Utilizable en la mayoría de los cultivos y suelos. La CE varía entre 0 – 250 [microsiemens/cm].
2. **Clase 2:** Agua de salinidad media. Puede utilizarse con un grado adecuado de lavado. La CE varía entre 250 – 750 [microsiemens/cm].
3. **Clase 3:** Agua altamente salina. Adecuada solo para cultivos tolerantes a sales y suelos con adecuado drenaje. La CE varía entre 750 – 2250 [microsiemens/cm].
4. **Clase 4:** Agua con alta salinidad. No es adecuada para riego. La CE varía entre 2250 – 5000 [microsiemens/cm].

3.3.8.3. Problemas de la calidad de agua de riego

Según Auza (2006), el uso de aguas salinas para riego presenta varios problemas significativos que deben ser considerados para garantizar la eficacia del riego y la salud de los cultivos. Los principales problemas identificados son:

- **Salinización del suelo:** La presencia de sales en el agua de riego o en el suelo reduce la disponibilidad de agua para los cultivos, lo que puede provocar un estado de marchitamiento y, en consecuencia, afectar negativamente los rendimientos agrícolas.

- **Problemas de infiltración de agua:** Un alto contenido de sodio o un bajo contenido de calcio en el agua o el suelo puede reducir la tasa de infiltración del agua de riego. Esto puede llegar a un punto en el que el agua no pueda abastecer adecuadamente al cultivo.
- **Toxicidad:** Algunas sales, cuando se acumulan en cantidades suficientes, pueden resultar tóxicas para los cultivos. Esta acumulación puede causar desequilibrios en la absorción de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.
- **Otros problemas:** Además de los problemas mencionados, se pueden presentar obstrucciones en los emisores de riego y corrosión en las conducciones. También es posible que se observe un exceso de nutrientes, lo que puede reducir el rendimiento o la calidad de los cultivos. Asimismo, los depósitos de sales en frutas o hojas pueden afectar el valor comercial de los productos.

Para mitigar estos problemas, es crucial realizar un análisis detallado del agua de riego. Este análisis permite determinar las estrategias de manejo adecuadas en función de la salinidad del agua y la tolerancia específica de los cultivos a dicha salinidad.

3.4. BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico es un concepto fundamental en la gestión de recursos hídricos, ya que representa la relación entre los ingresos y el consumo de agua en un área específica. Este equilibrio permite conocer la cantidad de agua necesaria para satisfacer las demandas de los cultivos durante sus diferentes fases de crecimiento y los calendarios agrícolas establecidos en cada proyecto. En términos técnicos, el balance hídrico se utiliza como una herramienta para programar los riegos, con el objetivo de gestionar el agua de manera eficiente y sostenible.

El balance hídrico se puede conceptualizar como una forma de contabilidad del agua sobre el suelo, en la que se registran tanto las ganancias (ingresos de agua) como las pérdidas (evaporación y escurrimiento) en un sector o cuenca a lo largo de un periodo determinado Figura 3.12. Este enfoque permite evaluar la disponibilidad de agua en relación con las necesidades de los cultivos y optimizar el uso de los recursos hídricos. La ecuación que la describe este balance es la siguiente:

BALANCE HÍDRICO

Relación entre entradas y salidas de agua en un sistema, esta ecuación se utiliza para determinar la disponibilidad de agua y evacuar su gestión en diferentes contextos::

$$R = ET + P + E + \Delta Hn$$

Donde:

R = Riego o precipitación
ET = Evapotranspiración
E = Escorrentía

P = Filtración profunda o ascenso capilar
ET = Evapotranspiración
 ΔHn = Cambio de almacenamiento

- Riego o precipitación (R): El riego aporta agua adicional, especialmente en sistemas de riego tecnificado, la precipitación constituye la entrada natural de agua al sistema.
- Evapotranspiración (ET): Es la salida de agua debido a la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas; un componente clave en la demanda hídrica de los cultivos.
- Escorrentía (E): Parte del agua que no se infiltra y se pierde superficialmente.
- Drenaje profundo (P): Agua que se infiltra más allá de la zona radicular y se pierde para el cultivo.
- Cambio de almacenamiento (ΔHn): Representa como varía el contenido de agua en el suelo durante el periodo de análisis.

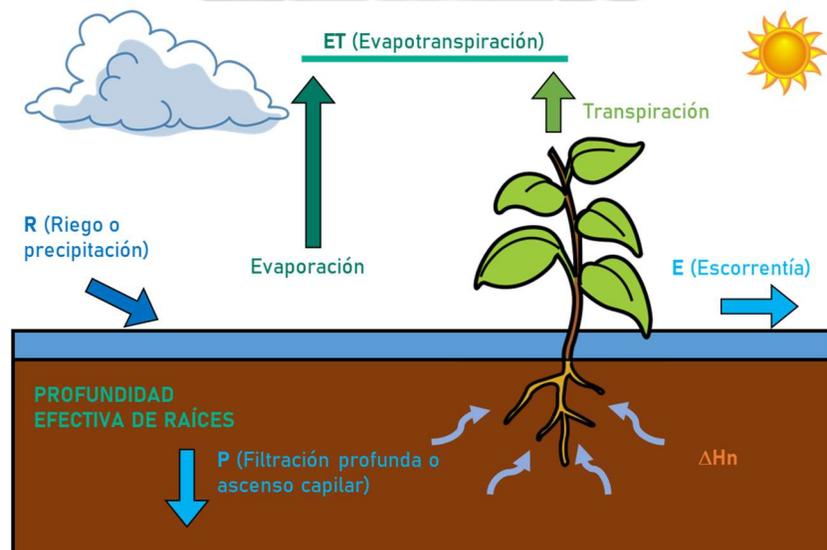


Figura 3.12. Sistema de suelo – planta – atmósfera

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, 2006.

Para simplificar el análisis del balance hídrico, se consideran dos factores de vital importancia: la evapotranspiración y la precipitación. La evapotranspiración es el proceso mediante el cual el agua es transferida desde el suelo y las plantas a la atmósfera, mientras que la

precipitación es el aporte de agua a través de lluvias o nevadas. La interacción entre estos factores es crucial para determinar el balance neto de agua en el sistema y ajustar las estrategias de riego en consecuencia.

3.5. RIEGO

El riego se define como la aplicación controlada y artificial de agua al suelo con el propósito de proporcionar la humedad necesaria para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Este proceso tiene como objetivo compensar la falta de precipitación natural y asegurar que las plantas reciban el agua suficiente durante su ciclo de vida. El riego es esencial en la agricultura, especialmente en áreas con condiciones climáticas áridas o en periodos de escasez de lluvias, ya que permite optimizar el rendimiento de los cultivos y estabilizar la producción agrícola (PROAGRO, 2006).

Además de suministrar humedad, el riego puede cumplir funciones adicionales, como el enfriamiento del suelo y la atmósfera para mejorar las condiciones de crecimiento, la disolución de sales acumuladas en el suelo y la reducción del riesgo de formación de costras superficiales que pueden obstaculizar la emergencia de las plántulas (Israelsen y Hansen, 1985).

3.6. RIEGO TECNIFICADO

El riego tecnificado se refiere a la aplicación de técnicas avanzadas y tecnologías para el suministro eficiente y controlado de agua a los cultivos. A diferencia del riego tradicional, que suele depender de métodos manuales o menos precisos, el riego tecnificado incorpora sistemas como el riego por goteo, aspersión, microaspersión y cintas de riego, que permiten una distribución uniforme y optimizada del agua, adaptándose a las necesidades específicas de cada cultivo y a las características del suelo.

Este tipo de riego busca maximizar la eficiencia en el uso del agua, minimizando las pérdidas por evaporación, escorrentía o percolación profunda, y reduciendo el desperdicio de recursos hídricos. Además, el riego tecnificado facilita la incorporación de fertilizantes y otros nutrientes directamente en el sistema de riego, conocido como fertirrigación, lo que mejora la disponibilidad de nutrientes y promueve un mejor desarrollo de las plantas.

En el contexto de la agricultura moderna, el riego tecnificado es fundamental para aumentar la productividad agrícola, conservar los recursos hídricos y adaptarse a los desafíos impuestos por el cambio climático y la variabilidad en la disponibilidad de agua (FAO, 2003).

3.7. EVAPOTRANSPIRACIÓN

3.7.1. Evapotranspiración de referencia ET_0

Es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua. Esta superficie de referencia se define como un cultivo hipotético de pasto con características específicas y se utiliza para representar condiciones estándar en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos, tal como se ilustra en el Cuadro 3.3 (FAO, 2006).

La ET_0 se emplea como una medida base para evaluar la demanda de agua en diferentes escenarios agrícolas, y su cálculo es fundamental para el diseño y la gestión de sistemas de riego tecnificado. Para determinar la ET_0 , es necesario considerar variables climáticas específicas, las cuales varían según los diferentes métodos disponibles. Estas variables se detallan en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3. Variables para determinar la ET_0

N°	VARIABLES	MÉTODOS		
		BLANEY CRIDDLE	HARGREAVES	PENMAN – MONTEITH
1	Temperatura media (mes) °C	X	X	X
2	Temperatura media máxima	X	X	X
3	Temperatura media mínima	X	X	X
4	Humedad del aire [%]	E	-	X
5	Insolación [%] u [hr]	E	-	X
6	Velocidad de viento [m/s]	E	-	X

x = datos medidos; E = datos estimados

Fuente: Food and Agriculture Organization – FAO, 2006

Los paneles de expertos recomiendan el método **Penman-Monteith** como el estándar para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_0). Este método es ampliamente aceptado por su precisión y versatilidad, y proporciona una fórmula que integra diversos parámetros climáticos para estimar la tasa de evapotranspiración. Los procedimientos para el cálculo de estos parámetros incluyen la medición de variables como la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento, entre otros. La aplicación adecuada de la fórmula Penman-Monteith permite obtener una estimación fiable de la evapotranspiración en condiciones estándar, lo que es esencial para la gestión eficiente del agua en sistemas de riego y en la planificación agrícola (FAO, 2006).

ECUACIÓN FAO PENMAN - MONTEITH

Proporción de agua retenida en la capa radicular con relación a la cantidad de lluvia caída.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta(R_o - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)}$$

ET_o : Evapotranspiración de referencia [mm día⁻¹]
 R_o : Radiación neta en la superficie del cultivo [MJ m⁻² día⁻¹]
 R_e : Radiación extraterrestre [mm día⁻¹]
 G : Flujo de calor de suelo [MJ m⁻² día⁻¹]

T : Temperatura media del aire a 2 m de altura [m s⁻¹]

u_2 : Velocidad del viento a 2 m de altura [m s⁻¹]

e_s : Presión de vapor de saturación [KPa]

e_a : Presión real del vapor [KPa]

$e_s - e_a$: Deficit de presión de vapor [KPa]

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor [KPa °C⁻¹]

γ : Constante psicométricas [KPa °C⁻¹]

3.7.2. Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándares, ET_c

La evapotranspiración de cultivo bajo condiciones estándar se denomina ET_c (Figura 3.13). Este concepto se refiere a la tasa de evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra en óptimas condiciones, es decir, libre de enfermedades, bien fertilizado y desarrollado en parcelas amplias bajo condiciones ideales de suelo y agua. La ET_c representa la máxima producción que un cultivo puede alcanzar en función de las condiciones climáticas predominantes, lo que permite una evaluación precisa de las necesidades hídricas del cultivo en situaciones ideales (FAO, 2006).

3.7.3. Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándares, ET_{c-aj}

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar se denomina ET_{c-aj} (Figura 3.13). Este término se refiere a la tasa de evapotranspiración de cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo distintas de las condiciones estándar. En situaciones de campo, la evapotranspiración real del cultivo puede desviarse de la ET_c debido a factores adversos, tales como la presencia de plagas y enfermedades, la salinidad del suelo, la baja fertilidad del suelo, o limitaciones o excesos en el suministro de agua. Estas condiciones pueden resultar en un crecimiento reducido de las plantas, una menor densidad de vegetación y, en consecuencia, en una disminución de la tasa de evapotranspiración en comparación con los valores de ET_c (FAO, 2006).

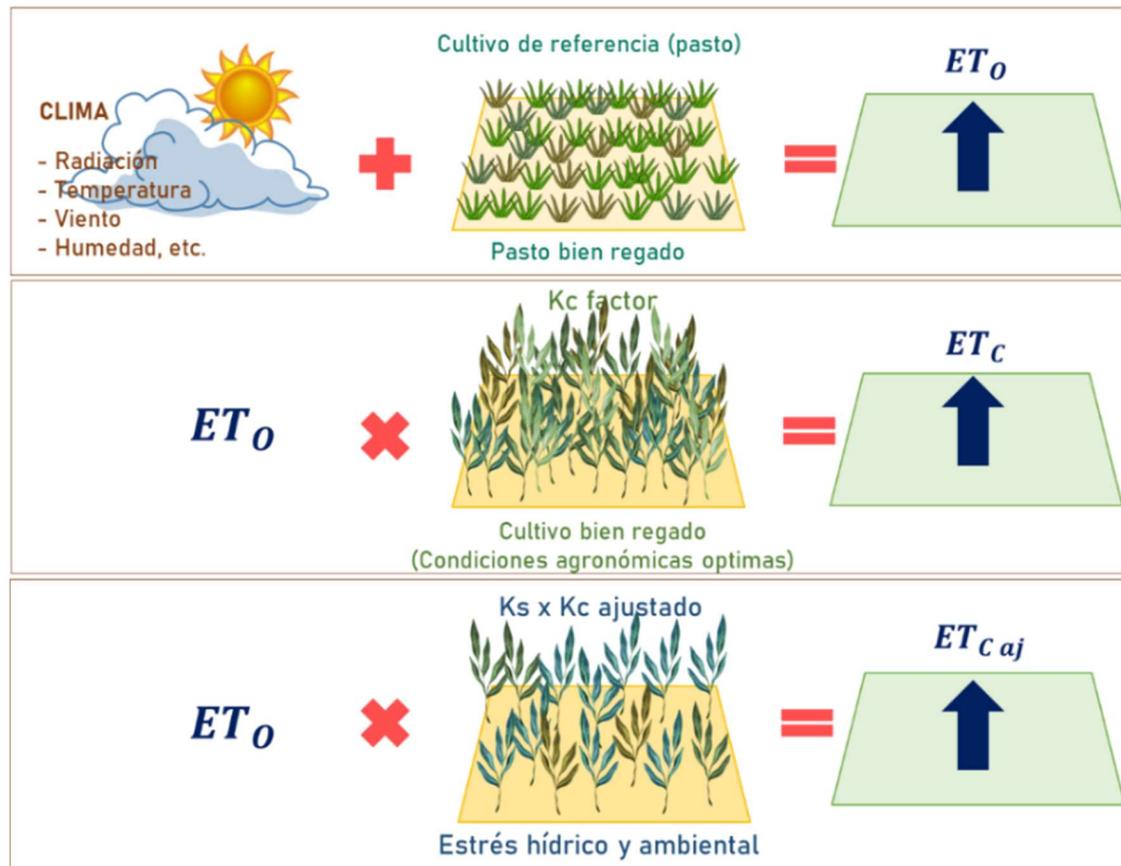


Figura 3.13. Evapotranspiración de cultivo, ET_c

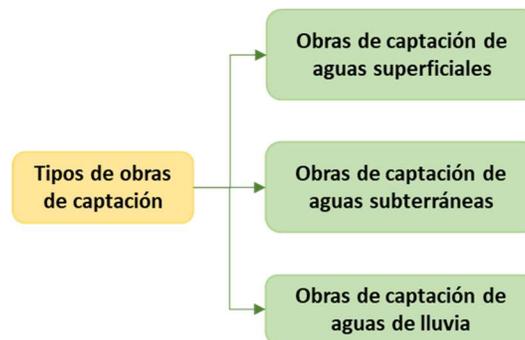
Fuente: Food and Agriculture Organization – FAO, 2006

3.8. OBRAS DE CAPTACIÓN - MANANTIALES

Las obras de captación son estructuras o dispositivos diseñados para capturar y dirigir el agua desde una fuente natural hacia un sistema de almacenamiento o distribución. Estas obras permiten el aprovechamiento eficiente del recurso hídrico, asegurando su disponibilidad para diversos usos, como riego, abastecimiento de agua potable, o procesos industriales.

La elección del tipo de obra de captación dependerá de diversos factores, tales como el tipo de fuente de agua, las condiciones del terreno, el régimen hidráulico y las características del agua que se desea captar. Las obras de captación pueden incluir una variedad de estructuras, como presas, compuertas, canales, embalses, y otras instalaciones específicas diseñadas para optimizar el uso del agua en función de las necesidades del proyecto. Estos elementos son esenciales para garantizar un aprovechamiento eficiente y sostenible del recurso hídrico, adaptándose a las condiciones particulares de cada contexto. Como se ilustra en el flujo a continuación, cada tipo de

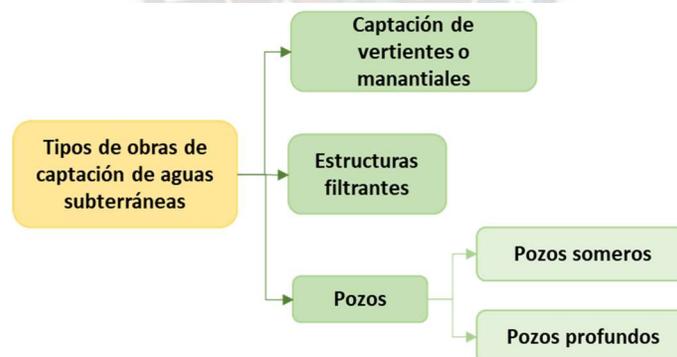
estructura tiene un propósito específico y se selecciona de acuerdo con las características del área de captación y los objetivos del sistema de riego.



3.8.1. Obras de captación de aguas subterráneas.

3.8.1.1. Tipos de obras de captación de aguas subterráneas

Los tipos de obras de captación de aguas subterráneas se clasifican en tres categorías principales: captación de vertientes o manantiales, estructuras filtrantes y pozos, como se muestra en el flujo a continuación. Cada una de estas categorías presenta características específicas y se selecciona según el tipo de recurso hídrico disponible y las necesidades del proyecto.



3.8.1.2. Captación de vertientes o manantiales.

Son obras que protegen los afloramientos naturales de agua subterránea de cualquier tipo de contaminación y permiten el ingreso a los elementos de conducción de agua hacia el tanque de almacenamiento, distribución o planta de tratamiento.

3.9. GEOTECNIA

3.9.1. *Determinación empírica de la tensión admisible – Método de la barra dinámica de California – CDG*

El método de la barra dinámica de California (CDG), también conocido como *California Driving Bar*, es una técnica utilizada para evaluar la capacidad de carga y resistencia de suelos, particularmente en proyectos de construcción y diseño de pavimentos. Este método se basa en la penetración dinámica de una barra o sonda en el suelo, lo que permite determinar características como la densidad, la compacidad y la resistencia del suelo a través de la medición de la fuerza necesaria para penetrar el terreno.

Una de sus aplicaciones es en la correlación de los resultados de resistencia a la compresión y la densidad relativa del suelo. Este tipo de pruebas permite estimar la tensión admisible del terreno, que es clave en el diseño de cimentaciones y estructuras que deben soportar cargas importantes.

El CDG es particularmente útil en situaciones donde otros métodos, como el de penetración estática, no son adecuados debido a la naturaleza del terreno o a las condiciones específicas del proyecto. Además, sus resultados son utilizados para mejorar la precisión en el diseño de pavimentos y fundaciones, contribuyendo a la seguridad y la eficiencia en proyectos de ingeniería civil.

Este método proporciona una solución práctica para determinar las condiciones del suelo en obra y es ampliamente utilizado en diferentes regiones del mundo, especialmente en terrenos que presentan variabilidad en su composición.

3.9.2. *Procedimiento*

El procedimiento se compone de varias etapas: primero, se coloca la barra sobre el terreno; luego, se aplican golpes controlados mediante un martillo; y finalmente, se registra el número de golpes necesarios para que la barra penetre una distancia fija, que suele ser de 30 cm. Estos datos se correlacionan con la capacidad portante del suelo, permitiendo estimar la tensión admisible que puede soportar.

La Figura 3.14 ilustra este proceso, mostrando el equipo y la metodología utilizada para la ejecución de este ensayo. Este método se destaca por su rapidez y simplicidad, lo que lo convierte en una opción viable para estudios preliminares en campo.

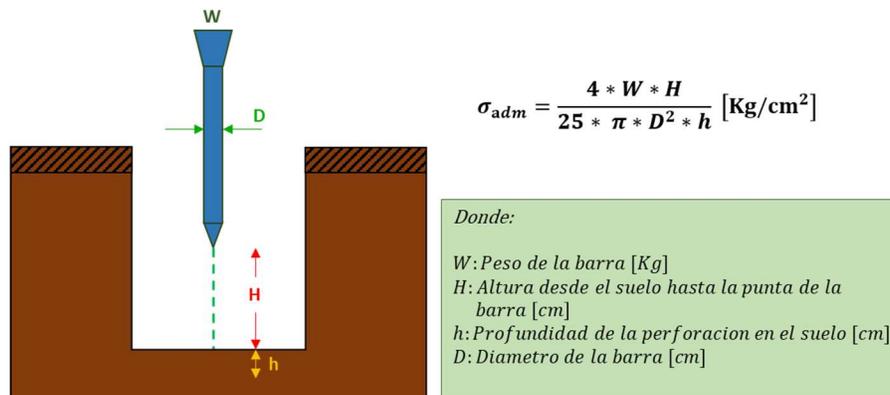


Figura 3.14. Cálculo del esfuerzo admisible del suelo método de la barra in situ

1. Preparación del equipo:

- Se utiliza una barra o sonda de acero cilíndrica, equipada con una punta cónica en la base.
- Un martillo de peso estándar (normalmente 63.5 kg) se deja caer desde una altura fija (76 cm), para generar impactos controlados sobre la barra.

2. Colocación de la barra:

- La barra se coloca verticalmente sobre el suelo en la ubicación a ensayar.
- Se asegura que esté nivelada para evitar desviaciones en los resultados.

3. Aplicación de impactos:

- Se deja caer el martillo sobre la barra desde la altura especificada (76 cm).
- Se mide el número de golpes necesarios para que la barra penetre una profundidad estándar (normalmente 30 cm).

4. Registro de datos:

- A medida que la barra se introduce en el suelo, se registra el número de golpes por cada segmento de penetración (por lo general, cada 30 cm).

- Los datos obtenidos se utilizan para calcular la resistencia del suelo, correlacionando el número de golpes con la capacidad portante.

5. Interpretación de resultados:

- Los resultados del ensayo se comparan con tablas y ecuaciones empíricas para obtener una estimación de la **tensión admisible del suelo**.
- Se aplican factores de seguridad, dependiendo del tipo de proyecto (viviendas, carreteras, etc.).

3.10. SUELO

3.10.1. Composición del suelo

La composición del suelo se basa en varios componentes fundamentales que determinan sus propiedades y funcionalidad. Según Monge (2018), el suelo está constituido principalmente por:

- **Partículas minerales:** Estas son los fragmentos de roca y minerales que se encuentran en el suelo, y su tamaño y proporción influyen en la textura del suelo. Las partículas minerales incluyen arena, limo y arcilla, y su distribución afecta la capacidad de retención de agua y la aireación del suelo.
- **Materia orgánica:** Resulta de la descomposición de restos de plantas y animales, así como de la actividad de microorganismos. La materia orgánica es esencial para la fertilidad del suelo, ya que mejora su estructura, aumenta su capacidad de retención de agua y proporciona nutrientes vitales para el crecimiento de las plantas.
- **Humedad:** El agua contenida en el suelo, conocida como humedad edáfica, es crucial para el crecimiento de las plantas. La cantidad y disponibilidad de esta humedad pueden variar según la textura del suelo y las condiciones climáticas.
- **Aire:** El aire en los poros del suelo es importante para la respiración de las raíces de las plantas y para la actividad de los microorganismos del suelo. La cantidad de aire disponible depende de la estructura y textura del suelo.

El suelo agrícola es altamente variable y esta variabilidad se caracteriza por la textura y la estructura de las partículas que lo componen. La textura se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla, mientras que la estructura describe cómo estas partículas se agrupan en agregados o

clústeres. Esta variabilidad tiene un impacto significativo en la capacidad del suelo para soportar el crecimiento de las plantas y en su uso en la agricultura (Monge, 2018).

3.10.2. Textura del suelo

La composición del suelo se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla en su estructura. Esta proporción es fundamental para inferir diversas propiedades del suelo, como la capacidad de retención de agua y la frecuencia de riego necesaria para los cultivos. La textura del suelo, determinada por esta proporción, influye en su capacidad para almacenar y drenar agua, así como en la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Para determinar la clase granulométrica o textural del suelo, se utiliza comúnmente el triángulo de texturas. Este triángulo, que es un triángulo equilátero, facilita la identificación de la textura del suelo al relacionar las proporciones de arena, limo y arcilla presentes. En la Figura 3.15 se puede observar este triángulo de texturas.

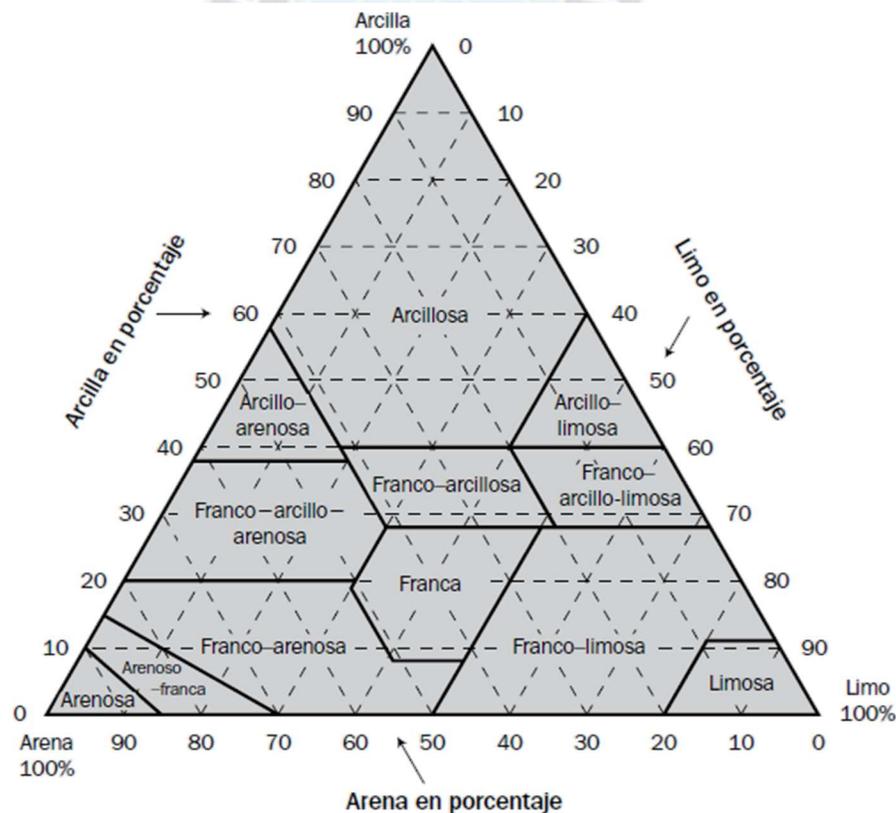


Figura 3.15. Triángulo de texturas USDA

Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1977.

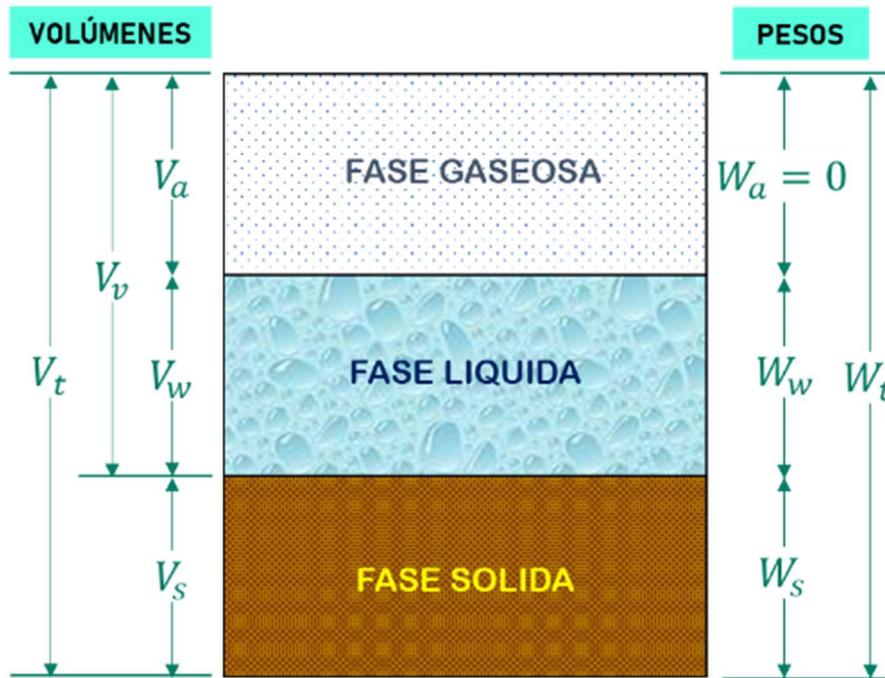


Figura 3.16. Diagrama esquemático del suelo

Adicionalmente, la representación esquemática de los componentes del suelo se muestra en la Figura 3.16. Estas representaciones ayudan a visualizar la distribución y las características de los diferentes componentes del suelo, proporcionando una comprensión más clara de su estructura y comportamiento.

3.10.3. Humedad del suelo

El conocimiento del contenido de agua en el suelo es crucial para la gestión eficiente del riego, ya que permite determinar los momentos óptimos y la cantidad de agua necesaria para las plantas. Este contenido de agua puede expresarse de diferentes maneras, cada una proporcionando una perspectiva útil para la planificación del riego. A continuación, se describen las formas comunes de expresar el contenido de agua en el suelo:

HUMEDAD GRAVIMÉTRICA

Es el porcentaje que representa el peso del agua con relación al peso de las partículas de los sólidos.

$$[\%] H_{\text{peso}} = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

También se puede calcular en función del peso de la muestra húmeda y seca:

Donde:

Peso del agua (W_w): gramos.

Peso del suelo (W_s): gramos.

$$[\%] H_{\text{peso}} = \frac{\text{peso humedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} * 100$$

HUMEDAD VOLUMÉTRICA

Es el porcentaje que representa el volumen de agua con la relación al volumen en total del suelo

$$[\%] H_{volumen} = \frac{V_W}{V_S} * 100$$

$$Dap = \frac{W_S}{V_t}$$

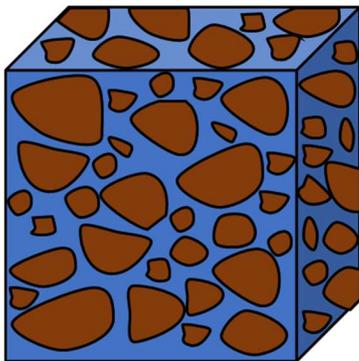
Donde:
Volumen del agua (V_W): $cm^3 H_2O$
Volumen del suelo (V_S): cm^3 suelo

$$[\%] H_{volumen} = W\% * Dap$$

3.10.4. Densidad aparente del suelo

La densidad aparente del suelo es una propiedad física del suelo que se define como la relación entre la masa del suelo seco y el volumen total del suelo, el cual incluye tanto el volumen de las partículas sólidas como el espacio poroso Figura 3.17. Se determina secando una muestra de suelo a una temperatura constante de 110 °C hasta obtener un peso constante. La densidad aparente se expresa en gramos por centímetro cúbico [g/cm^3] y proporciona información crítica sobre la estructura del suelo.

$$D_a = \frac{W_{suelo\ seco}}{V_{suelo\ seco}} [g/cm^3]$$



TIPO DE SUELO	D_a [g/cm^3]
Suelos orgánicos	0.10 – 0.60
Suelos superficiales, texturas finas	1.00 – 1.30
Suelos superficiales, texturas gruesas	1.00 – 1.80
Suelos compactados	1.00 – 2.00
Suelos franco arcillosos	1.00 – 1.40
Suelos franco limosos	1.10 – 1.40
Suelos franco arenoso	1.20 – 1.80
Suelos volcánicos	0.30 – 0.85

Figura 3.17. Densidad aparente “ D_a ”

Fuente: Food and Agriculture Organization – FAO, 1998.

En el contexto de un proyecto de riego tecnificado, la densidad aparente del suelo es un factor crítico para la planificación y ejecución del sistema de riego. Un suelo con una alta densidad aparente puede limitar la infiltración de agua y la penetración de las raíces, lo que puede llevar a una menor eficiencia en el uso del agua y afectar negativamente el crecimiento de los cultivos.

Conocer la densidad aparente permite diseñar un sistema de riego que mejore la distribución del agua y optimice la eficiencia del riego, asegurando que el agua llegue de manera efectiva a las

raíces de las plantas y se reduzcan los problemas asociados con la compactación del suelo Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Densidad aparente “Da”

TIPO DE SUELO	Da [g/cm ³]
Suelos orgánicos	0,10 – 0,60
Suelos superficiales, texturas finas	1,00 – 1,30
Suelos superficiales, texturas gruesas	1,00 – 1,80
Suelos compactados	1,00 – 2,00
Suelos franco arcillosos	1,00 – 1,40
Suelos franco limosos	1,10 – 1,40
Suelos franco arenoso	1,20 – 1,80
Suelos volcánicos	0,30 – 0,85

Fuente: Densidad aparente para diferentes tipos de suelos (FAO, 1998).

3.10.5. pH en el suelo

El pH del suelo es un parámetro fundamental que indica el grado de acidez o alcalinidad de la solución del suelo. Esta medida es esencial ya que refleja las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, influyendo directamente en la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los nutrientes se encuentran en la solución del suelo, que es el medio a través del cual las raíces de las plantas absorben los elementos nutritivos necesarios.

La escala del pH se extiende de 0 a 14, como se muestra en la Figura 3.18. Los valores de pH por debajo de este rango pueden indicar problemas de deficiencias en nutrientes primarios como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio. Por otro lado, valores de pH superiores pueden afectar la disponibilidad de micronutrientes esenciales como hierro, magnesio, cobre y zinc.

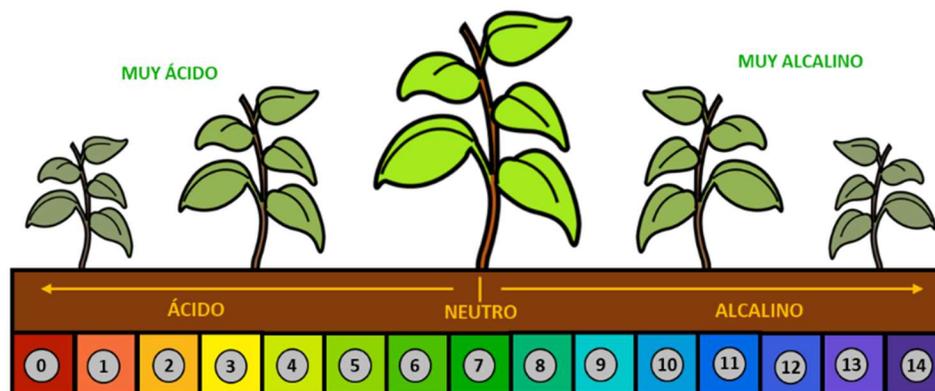


Figura 3.18. pH en el suelo

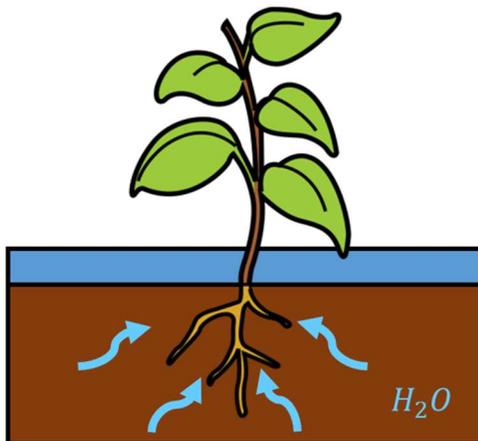
Cada especie vegetal tiene un rango óptimo de pH en el cual se adapta mejor y puede absorber nutrientes de manera más eficiente. Así, el pH del suelo se convierte en un criterio crucial para evaluar la dinámica de los nutrientes en el suelo y, por ende, su influencia en la productividad de los cultivos (Castellanos, 2014).

3.10.6. Capacidad de Campo

La capacidad de campo (CC) se define como la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener después de haber sido saturado y dejado drenar el exceso de agua bajo condiciones normales de drenaje. En otras palabras, representa la cantidad de agua que el suelo puede mantener disponible para las plantas después de una lluvia o un riego, cuando el flujo descendente del agua (percolación) ha cesado y las fuerzas gravitacionales están equilibradas con las fuerzas de retención del agua (capilaridad).

A pesar de que parte del agua se ha drenado, aún queda agua en la zona no saturada del suelo. Esta cantidad de agua que permanece disponible en el suelo es conocida como la capacidad de campo Figura 3.19. La capacidad de campo es un indicador crucial para la planificación y gestión de sistemas de riego, ya que determina la cantidad de agua que el suelo puede almacenar para el uso de las plantas entre dos eventos de riego.

(Agua disponible para el cultivo)



HUMEDAD RETENIDA A 0.30 ATM
DISPONIBLE PARA CULTIVO

TEXTURA	C. C. [m^3/m^3]
Arena	0.07 – 0.17
Arena margosa	0.11 – 0.19
Marga arenosa	0.18 – 0.28
Marga	0.20 – 0.30
Marga limosa	0.22 – 0.36
Limo	0.28 – 0.36
Arcilla limosa	0.30 – 0.42
Arcilla	0.32 – 0.40

UNIDADES DE CAPACIDAD DE CAMPO:

$$10 \text{ [mca]} = 1 \text{ [atm]} = 1 \text{ [bar]} = 760 \text{ [mmHg]} = 1 \text{ [Kgf/cm]}$$

Figura 3.19. Contenido de humedad a capacidad de campo “CC”

Fuente: Food and Agriculture Organization – FAO, 1998.

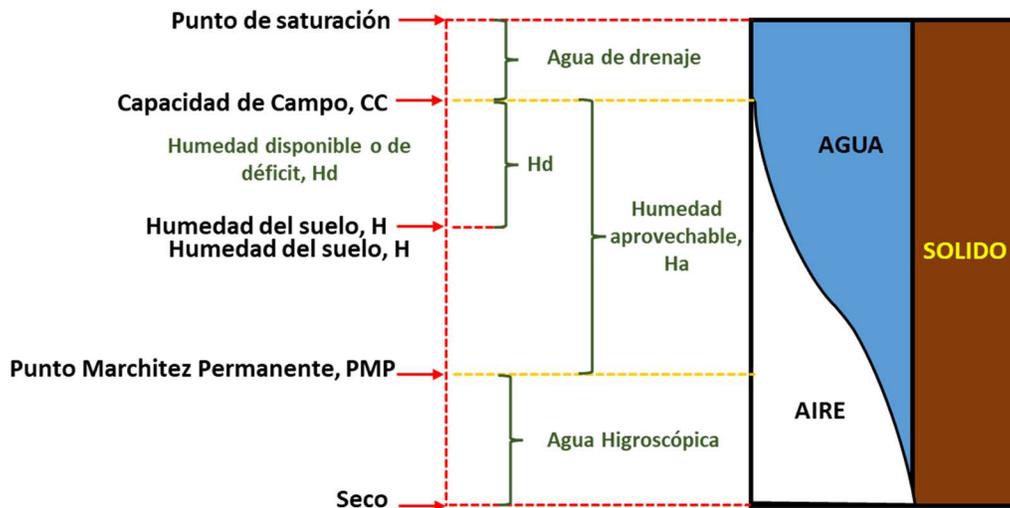


Figura 3.20. Esquematzación de la capacidad de campo y la dinámica general del agua en el suelo

Fuente: Food and Agriculture Organization – FAO, 1998.

La capacidad de campo es la cantidad de agua que el suelo puede retener después de haber sido saturado o mojado abundantemente y de haber permitido que el exceso de agua drene libremente. Esta capacidad previene la pérdida de agua por evapotranspiración hasta que el potencial hídrico del suelo se estabilice, lo cual ocurre aproximadamente entre 24 y 48 horas después de una lluvia o riego Figura 3.20.

En la práctica, para determinar la capacidad de campo, se toman muestras de suelo en los diferentes horizontes que posee el perfil del suelo. Los valores orientativos de la capacidad de campo para diversos tipos de suelos se presentan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Capacidad de campo “C.C.”

TIPO DE SUELO	C.C. [m ³ /m ³]
Arena	0,07 – 0,17
Arena margosa	0,11 – 0,19
Marga arenosa	0,18 – 0,28
Marga	0,20 – 0,30
Marga limosa	0,22 – 0,36
Limo	0,28 – 0,36
Arcilla limosa	0,30 – 0,42
Arcilla	0,32 – 0,40

Fuente: Food and Agriculture Organization – FAO, 1998.

3.10.7. Punto de marchitez permanente “PMP”

El punto de marchitez es el grado de humedad del suelo en el cual las plantas comienzan a marchitarse de manera permanente. En este punto, el agua presente en el suelo está retenida con una fuerza que supera la capacidad de succión de las raíces de las plantas. Este concepto se representa esquemáticamente en la Figura 3.21.

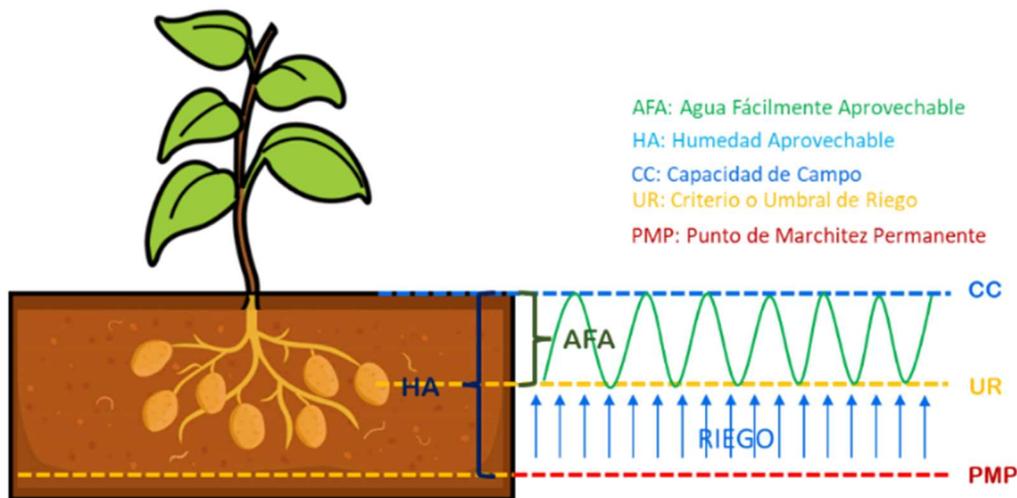


Figura 3.21. Punto de marchitez permanente “PMP”

Cuando una planta succiona agua del suelo, el suelo se seca y la presión negativa, que es la que retiene el agua, aumenta. En determinado momento, la presión negativa se vuelve tan alta que la planta no puede extraer más agua del suelo, lo que lleva a la falta de agua y, eventualmente, a la muerte de la planta. El contenido de agua en el cual ocurre este fenómeno se denomina Punto de Marchitez Permanente (PMP).

Además, cuando la humedad del suelo se agota y se alcanza el punto de marchitez, la microflora aerobia favorece la rápida oxidación de los componentes orgánicos y minerales del suelo. Sin embargo, debido a la falta de agua, estos elementos no pueden ser absorbidos por la planta. Valores orientativos del orden de magnitud del PMP para diversos tipos de suelo se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Valores de punto de marchitez permanente

TIPO DE SUELO	Pm [m ³ /m ³]
Arena	0,02 – 0,07
Arena margosa	0,03 – 0,10
Marga arenosa	0,06 – 0,16
Marga	0,07 – 0,17
Marga limosa	0,09 – 0,21
Limo	0,12 – 0,22
Arcilla limosa	0,17 – 0,29
Arcilla	0,20 – 0,24

Fuente: Food and Agriculture Organization – FAO, 1998.

3.10.8. Velocidad de infiltración básica (VIB)

La velocidad de infiltración se define como la capacidad de un terreno para admitir agua desde su superficie hacia el interior. Específicamente, se refiere a la relación entre la lámina de agua que se infiltra en el suelo y el tiempo que tarda en hacerlo, comúnmente expresada en milímetros por hora [mm/h]. Para medir esta velocidad, uno de los métodos más comunes es el del infiltrometro de anillo doble. Este método representa una mejora respecto a otros enfoques previos, ya que utiliza dos anillos concéntricos: uno interior y otro exterior. El anillo exterior ayuda a reducir la dispersión lateral del agua, lo que permite obtener una medición más precisa de la velocidad de infiltración en el anillo interior. Durante la medición, el agua se infiltra desde el anillo interior, mientras que el anillo exterior se mantiene lleno para minimizar la pérdida lateral, tal como se muestra en la Figura 3.22. Matemáticamente, esta relación se expresa mediante la fórmula:

$$I = a * t^b$$

Donde:

I: Velocidad de infiltración [mm/min] o [mm/h]

t: Tiempo [min] o [h]

a: Coeficiente que representa la velocidad de infiltración

b: Exponente sin dimensión, siempre con valores entre (0 a -1)

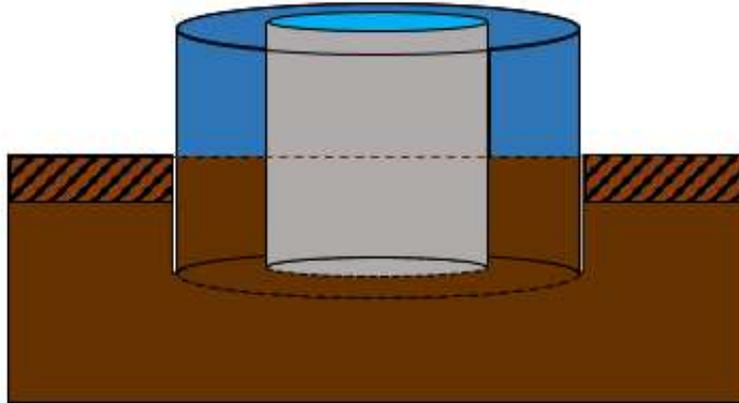


Figura 3.22. Velocidad de infiltración

Según Brouwer (1988), se pueden encontrar valores referenciales para la velocidad de infiltración básica o estabilizada, en función de la textura del suelo, como se muestra en la Tabla 3.5. Además, la comparación de la infiltración en relación con la conductividad hidráulica se detalla en la Tabla 3.6, expresada en milímetros por hora [mm/h].

Tabla 3.5. Velocidad de infiltración “VIB”

Textura	VIB [mm/h]
Arenoso	> 30
Franco Arenoso	20 – 30
Franco	10 – 20
Franco Arcilloso	5 – 10
Arcilloso	1 – 5

Fuente: Brouwer, 1988.

Tabla 3.6. Capacidad de infiltración

Capacidad de Infiltración	Conductividad Hidráulica [mm/h]	Comentarios
Infiltración cero	< 0,025	Suelos sellados, sin drenaje.
Infiltración muy lenta	0,025 – 0,25	Suelo inadecuado para drenaje, con riesgo de posible salinización.
Infiltración lenta	0,25 – 2,5	Aireación necesaria suficiente para el desarrollo radicular.
Infiltración moderada	2,5 – 25	Infiltración adecuada; suelo bien drenado, buena aireación.
Infiltración rápida	25 – 250	Nivel de infiltración normal en suelos livianos.
Infiltración muy rápida	> 250	Infiltración típica en dunas de arena.

Fuente: Netafim.

3.11. HIDRÁULICA DE SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO

3.11.1. Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad es una expresión fundamental en la dinámica de fluidos, basada en el principio de conservación de la masa. Este principio establece que, para un flujo incompresible dentro de una tubería donde el caudal se mantiene constante, el producto del área de la sección transversal (A) y la velocidad del flujo (V) debe ser constante a lo largo de toda la longitud de la tubería. Matemáticamente, esto se expresa como:

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 = \dots = A_nV_n$$

Donde:

Q: Caudal de la tubería

A: Área de la sección de la tubería

V: Velocidad del fluido

La utilidad principal de la ecuación de continuidad radica en su capacidad para determinar con precisión la velocidad del fluido en diferentes secciones de una tubería, bajo la condición de un caudal constante Figura 3.23. Esta capacidad es fundamental en el diseño y operación de sistemas de riego tecnificado, ya que la velocidad del fluido influye directamente en varios aspectos críticos del sistema, como la distribución de la presión, la eficiencia del riego, y los riesgos asociados con la erosión o sedimentación en las tuberías. Un adecuado dimensionamiento basado en la ecuación de continuidad permite optimizar el rendimiento del sistema, asegurando que el flujo de agua se mantenga dentro de los parámetros requeridos para el desarrollo óptimo de los cultivos.

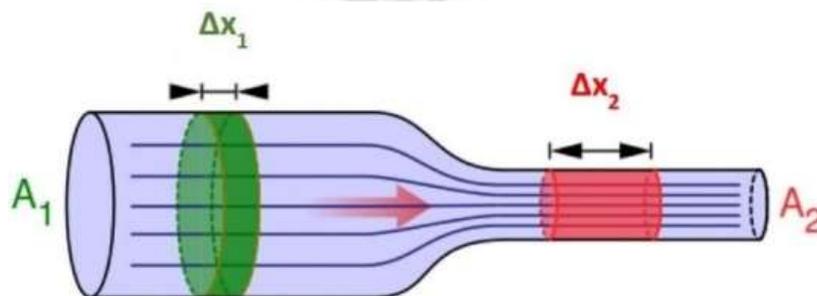


Figura 3.23. Ecuación de continuidad

Fuente: Wikimedia Commons/F. Zapata.

3.11.2. Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es clave en la dinámica de fluidos, ya que describe el comportamiento de un fluido en movimiento dentro de un sistema de tuberías, vinculando la energía cinética, la energía potencial y la presión del fluido a lo largo de su trayectoria. En su forma ideal, esta ecuación es una expresión del principio de conservación de la energía a lo largo de una línea de corriente en un fluido ideal, es decir, uno sin viscosidad ni compresibilidad. Sin embargo, en la práctica, los fluidos reales experimentan pérdidas de energía debido a la fricción, cambios de dirección, y otras resistencias en el sistema. Para abordar estas situaciones, la ecuación de Bernoulli se generaliza incorporando un término adicional que representa las pérdidas de carga a lo largo del sistema (Fuentes, 1999).

La forma generalizada de la ecuación de Bernoulli, considerando un fluido real con pérdidas de carga, se expresa como:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{1-2}$$

Donde:

Z_1 y Z_2 : Cotas geométricas en las posiciones 1 y 2 respectivamente

P_1 y P_2 : Presiones en las posiciones 1 y 2 respectivamente

V_1 y V_2 : Velocidades en las posiciones 1 y 2 respectivamente

g : Aceleración de la gravedad

γ : Peso específico

h_{1-2} : Pérdidas de carga debidas al rozamiento o fricción

La Figura 3.24 ilustra una tubería de diámetro constante en la que se aplica la ecuación de Bernoulli. Debido a la uniformidad del diámetro, la velocidad del fluido se mantiene constante a lo largo de la conducción. En esta configuración, la línea de energía, que representa la suma de la energía de presión, cinética y potencial del fluido, es paralela a la línea piezométrica, lo cual indica una distribución uniforme de las energías a lo largo de la tubería.

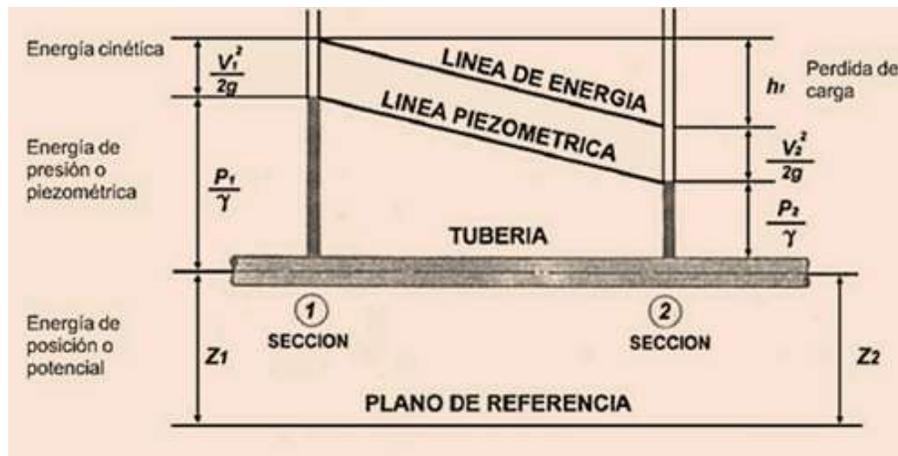


Figura 3.24. Pérdida de energía en una conducción a presión

Fuente: Monge, 2018.

Este paralelismo implica que, en una tubería con diámetro constante, cualquier variación en la presión del fluido se debe únicamente a los cambios en la altura (energía potencial) y a las pérdidas de carga por fricción. Al no haber cambios en la velocidad del flujo, la ecuación de Bernoulli en este caso simplificada muestra que las líneas de energía y piezométrica son equivalentes, reflejando que la energía total del fluido se conserva a lo largo de la tubería.

En otras palabras, aunque la presión pueda variar con la altura y las pérdidas de carga, la suma de todas las formas de energía del fluido permanece constante, lo cual es un principio fundamental en la gestión y diseño de sistemas de tuberías para garantizar su eficiencia y estabilidad.

3.11.3. Fricción y turbulencia

Según Carrazón (2007), el movimiento del agua a través de las tuberías implica la pérdida de energía debido a la fricción generada por el rozamiento del agua contra las superficies internas de las tuberías. Estas pérdidas, conocidas como pérdidas por fricción, son influenciadas por varios factores clave:

- **Velocidad media del agua:** A medida que la velocidad del agua aumenta, también lo hace la fricción, lo que incrementa las pérdidas de energía.
- **Longitud de la tubería:** En tuberías más largas, el rozamiento acumulado a lo largo de toda la longitud provoca mayores pérdidas energéticas.

- **Diámetro de la tubería:** Un diámetro menor implica una mayor proporción de superficie en contacto con el agua, lo que incrementa la fricción y, por ende, las pérdidas de energía.
- **Material de la tubería:** Diferentes materiales presentan rugosidades variadas que afectan la fricción. Materiales con superficies más rugosas generan mayores pérdidas de energía debido al incremento en el rozamiento.

Además, el diseño hidráulico a menudo incluye la instalación de dispositivos especiales como uniones, ensanchamientos, reducciones, derivaciones, filtros y llaves. Estos elementos, conocidos como singularidades, causan cambios bruscos en la velocidad y dirección del flujo de agua, generando turbulencias que resultan en pérdidas adicionales de energía.

En el marco teórico de la hidráulica, estas pérdidas adicionales, combinadas con las pérdidas por fricción, se denominan pérdidas de carga. Estas pérdidas representan la diferencia entre la presión estática y la presión dinámica del fluido y son fundamentales para el análisis y diseño de sistemas de riego tecnificado, así como en otras aplicaciones hidráulicas. Las pérdidas de carga son esenciales para dimensionar adecuadamente las tuberías y asegurar un funcionamiento eficiente y sostenible del sistema hidráulico.

3.11.4. Estimación de las pérdidas de carga

Según Carrazón (2007), las pérdidas de carga en un sistema hidráulico se dividen en dos categorías principales:

- **Pérdidas de carga por fricción o continuas (h_f):** Estas pérdidas se deben a la fricción que el agua experimenta al pasar a lo largo de las tuberías y mangueras. Las pérdidas continuas dependen de la longitud de la tubería, el diámetro, el material de la conducción y la velocidad del flujo. Constituyen las pérdidas de energía predominantes en un sistema hidráulico debido a la resistencia constante que el flujo encuentra al desplazarse a través de las superficies internas de las conducciones.
- **Pérdidas de carga locales o secundarias (h_s):** Estas pérdidas ocurren en puntos específicos del sistema, como uniones, ensanchamientos, reducciones, derivaciones, filtros y válvulas. Aunque estas pérdidas pueden causar cambios bruscos en la velocidad y dirección del flujo, cuantitativamente suelen ser menores en comparación con las pérdidas continuas.

La pérdida de carga total (h_T) en un sistema hidráulico se calcula sumando las pérdidas continuas (h_f) y las pérdidas locales (h_s). En la práctica, las pérdidas locales suelen ser relativamente pequeñas en comparación con las pérdidas por fricción; por lo tanto, en la mayoría de los casos, la pérdida de carga total es prácticamente igual a la pérdida de carga por fricción (Carrazón, 2007).

Este enfoque es fundamental en el diseño de sistemas de riego tecnificado, ya que permite dimensionar adecuadamente las tuberías y componentes, optimizando la eficiencia del sistema y minimizando las pérdidas de energía.

$$h_T = h_f + h_s \cong h_f$$

Las pérdidas de carga por fricción en los elementos de un sistema de riego presurizado se calculan utilizando fórmulas específicas adaptadas a cada tipo de componente. Una de las fórmulas más ampliamente utilizadas para estimar estas pérdidas en tuberías es la **fórmula de Hazen-Williams**. Esta fórmula es particularmente eficaz para calcular la pérdida de carga debida a la fricción del agua a lo largo de la tubería, y considera variables clave como la rugosidad del material de la tubería, el diámetro de la misma y la velocidad del flujo (MMAyA, 2018).

La fórmula de Hazen-Williams se expresa de la siguiente manera:

$$h_f = 1,131 * 10^9 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * D^{-4.871} * L$$

Donde:

h_f : Pérdidas de carga por fricción [mca]

Q : Caudal [m³/h]

C : Coeficiente de rugosidad (para PE y PVC, $C = 140$)

D : Diámetro interior [mm]

L : Longitud [m]

Las pérdidas de carga singulares o secundarias, que se producen cuando el agua pasa a través de puntos singulares en el sistema de riego, suelen ser considerablemente menores en comparación con las pérdidas por fricción. En la práctica, se adopta el criterio de despreciar estas pérdidas singulares cuando la longitud del tramo de tubería entre puntos singulares es superior a 1000 veces

el diámetro de la tubería. Este criterio simplifica los cálculos al asumir que el impacto de las pérdidas secundarias es menor en comparación con las pérdidas continuas a lo largo de la tubería (Carrazón, 2007).

3.12. SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO

3.12.1. Definición

Un sistema de riego tecnificado se refiere a un conjunto de técnicas y tecnologías avanzadas diseñadas para suministrar agua de manera eficiente y controlada a los cultivos, con el objetivo de optimizar el uso del recurso hídrico, mejorar el rendimiento agrícola y reducir costos. Estos sistemas utilizan equipos y métodos que permiten una distribución precisa del agua, minimizando el desperdicio y maximizando la eficacia del riego.

Características clave de los sistemas de riego tecnificado incluyen:

- **Control Preciso del Riego:** Utilizan tecnologías para medir y controlar la cantidad de agua aplicada, ajustando la distribución en función de las necesidades específicas de las plantas y las condiciones del suelo.
- **Distribución Uniforme del Agua:** Aseguran una cobertura homogénea del área de cultivo, lo que favorece un crecimiento uniforme de las plantas.
- **Reducción de Pérdidas:** Minimiza las pérdidas de agua por evaporación, escorrentía o infiltración excesiva, optimizando el uso del recurso hídrico.
- **Automatización:** Muchos sistemas incluyen componentes automatizados, como sensores de humedad del suelo, controladores y válvulas automáticas, que permiten ajustar el riego sin intervención manual constante.
- **Adaptabilidad:** Se diseñan para adaptarse a diferentes tipos de cultivos, topografías y condiciones climáticas, permitiendo una gestión eficiente del agua en diversas situaciones.
- **Sostenibilidad:** Promueven prácticas de riego más sostenibles, reduciendo el impacto ambiental y promoviendo la conservación de recursos.

Estos sistemas son fundamentales para la agricultura moderna, especialmente en regiones con escasez de agua o en cultivos de alto valor, donde la eficiencia y la precisión en la aplicación del agua son cruciales.

3.12.2. Eficiencias para sistemas de riego tecnificado

La eficiencia de riego de un sistema se evalúa considerando tres componentes principales:

1. **Eficiencia de conducción:** Mide la efectividad con la que el agua es transportada desde la fuente hasta el área de distribución.
2. **Eficiencia de distribución:** Evalúa la uniformidad y precisión con la que el agua se distribuye a lo largo de los canales secundarios.
3. **Eficiencia de aplicación:** Refleja la efectividad con la que el agua es aplicada directamente a las parcelas.

La eficiencia global del sistema de riego se calcula como el producto de estas tres eficiencias (DGIAR, 2015), y se expresa matemáticamente como:

$$E_f_r = E_f_c * E_f_c * E_f_d * E_f_a$$

Donde:

Efr: Eficiencia del sistema de riego.

Efcap: Eficiencia de captación.

Efc: Eficiencia de conducción.

Efd: Eficiencia de distribución.

Efa: Eficiencia de aplicación.

Esta fórmula permite obtener una medida integral de cómo cada etapa del sistema de riego contribuye a la efectividad global del proceso. La Figura 3.25 ilustra la eficiencia por método de sistemas de riego.

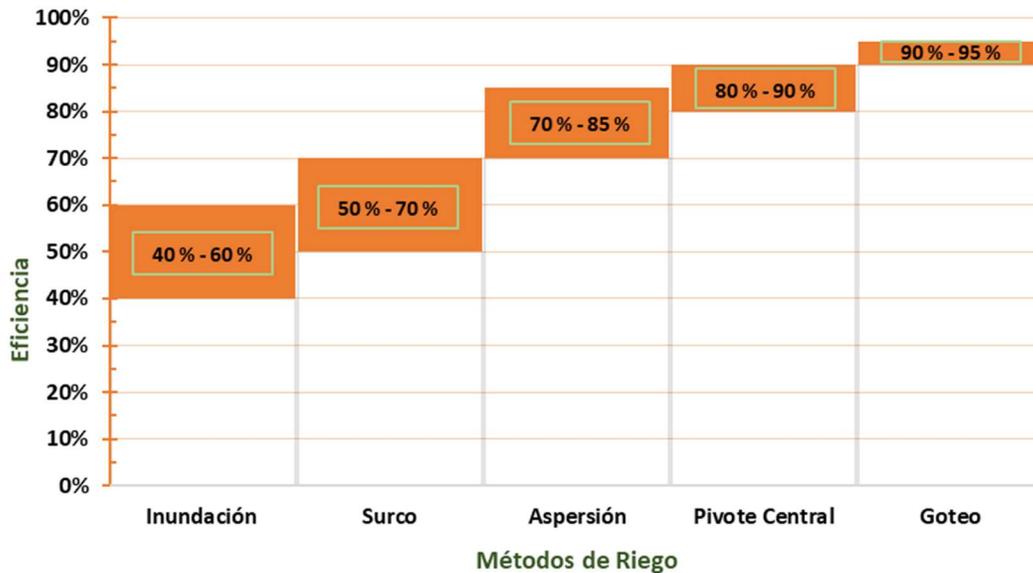


Figura 3.25. Métodos de riego Vs Eficiencia

3.13. SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO POR ASPERSIÓN

Un sistema de riego por aspersión es una técnica de irrigación en la que el agua se aplica de manera uniforme sobre el área de cultivo en forma de gotas finas, simulando una lluvia. Este sistema está diseñado para asegurar que el agua se infiltre en el suelo en el punto exacto donde cae, mejorando la eficiencia en la distribución del recurso hídrico, como se muestra en la Figura 3.26.

Para funcionar correctamente, el sistema de riego por aspersión requiere una red de distribución que transporte el agua desde la fuente hasta los emisores (aspersores o hidrantes) con la presión adecuada. Los componentes clave del sistema incluyen:

- **Red de Tuberías:** Transporta el agua desde la fuente hasta los aspersores.
- **Aspersores o Hidrantes:** Dispositivos que dispersan el agua en forma de gotas finas, asegurando una cobertura uniforme.
- **Bomba:** Mantiene la presión necesaria para que el agua sea distribuida eficientemente a través de la red.
- **Válvulas y Controladores:** Reguladores que gestionan el flujo de agua y los tiempos de riego, optimizando la aplicación.

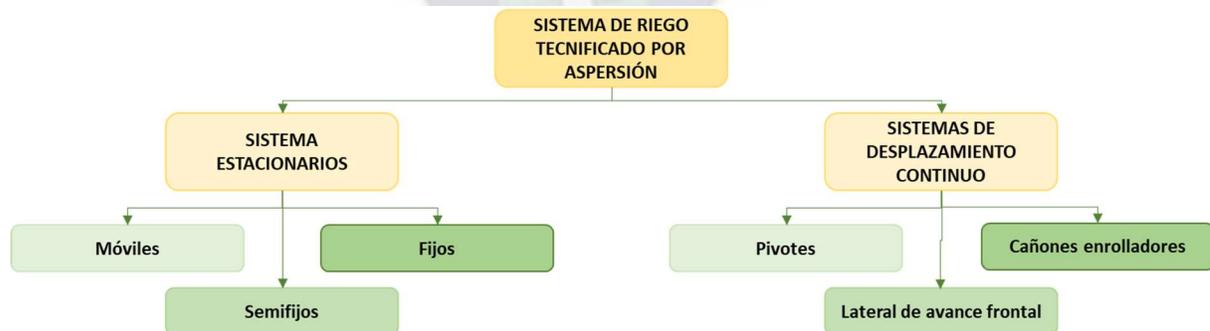
Este método de riego es adecuado para diversos tipos de cultivos y terrenos, y es especialmente útil en áreas donde la disponibilidad de agua es limitada o donde otros métodos de riego serían menos efectivos. La aspersión asegura una distribución equitativa del agua, minimizando el desperdicio y mejorando la salud y el rendimiento de los cultivos.



Figura 3.26. Riego tecnificado por Aspersión

3.13.1. Tipos de sistemas de riego tecnificado por aspersión

Los sistemas de aspersión se clasifican según el grado de movilidad de sus componentes, lo que facilita la comprensión de su funcionamiento y proporciona una mejor estimación de los costos y las inversiones necesarias. En general, los sistemas de aspersión se dividen en dos categorías principales, como se ilustra en el esquema a continuación:



- 1. Sistemas Estacionarios:** Estos sistemas tienen componentes fijos que no se mueven durante el proceso de riego. La cobertura se realiza en un área determinada sin desplazamiento de los equipos. Son adecuados para terrenos con características uniformes y suelen ser menos costosos en términos de instalación y operación.

2. Sistemas de Desplazamiento Continuo: Estos sistemas están diseñados para moverse a lo largo del área de cultivo, permitiendo una distribución más uniforme del agua en terrenos extensos o irregulares. Incluyen equipos como sistemas pivotantes, carretes y tubos móviles. Aunque implican una mayor inversión inicial y costos de mantenimiento, ofrecen flexibilidad y mayor cobertura en terrenos variados.

Esta clasificación permite elegir el sistema más adecuado en función de las características del terreno, el tipo de cultivo y el presupuesto disponible (Fernández, 2010).

3.13.2. Componentes para instalación de un sistema de riego por aspersión

La instalación de un sistema de riego tecnificado por aspersión requiere una serie de componentes clave para asegurar un funcionamiento eficiente y adecuado. A continuación, se describen los principales componentes:

- **Fuente de presión:** Es generada por una Motobomba o por diferencia de altura del reservorio, tanque de almacenamiento, río, atajado, que por efecto de gravedad genera presión natural. Se debe tener en cuenta el caudal y la presión requerida.
- **Red de aducción y/o de conducción:** Conformada de una red de tuberías que lleva o transporta el agua desde la fuente existente o desde la bomba hacia los cabezales. Esto se puede realizar a través de tubería de PVC o politubo HDPE.
- **Línea de distribución:** Está conformado por tuberías (red de ramales) que conducen el agua hasta los hidrantes, los cuales se encuentran en las parcelas de riego. En la red de distribución el agua debe llegar al mismo tiempo y con la misma presión donde se encuentra instalado los aspersores con la finalidad de conseguir un riego uniforme.
- **Hidrantes:** Se define como hidrante un punto de acceso a la red de distribución de agua presurizada, diseñado específicamente para facilitar el riego de áreas agrícolas. Suelen estar ubicados estratégicamente dentro de la propiedad o área a irrigar permitiendo una conexión rápida y eficiente a mangueras, aspersores u otros sistemas de riego Figura 3.27.



Figura 3.27. Hidrante

Puede llegar a incluir las funciones de “corte de suministro” y “medición”. También puede integrar las funciones de “limitación de caudal” y “regulación de presión”. Los hidrantes suelen colocarse a pie de parcela o para suministrar el agua a varias parcelas de forma que el agua que llega a la parcela sea la necesaria y a la presión requerida.

Un hidrante tiene como funciones: Suministro de agua proporcionando un flujo de agua controlado y a presión para el riego del cultivo; facilidad de uso permitiendo una conexión rápida y sencilla a los sistemas de riego; control del riego facilitando la regulación del caudal y la cantidad de agua suministrada optimizando, el uso del recurso hídrico; flexibilidad a las diferentes necesidades de riego y eficiencia al uso eficiente del agua de riego.

- **Aspersores:** Son los elementos encargados de aplicar el agua en forma de lluvia. Estos dispositivos pueden ser tuberías perforadas, difusores fijos, boquillas o aspersores, entre otros Figura 3.28. Los más utilizados en la agricultura son los giratorios por que giran alrededor de su eje y permiten regar una superficie circular impulsados por la presión del agua Tabla 3.7.



Aspersor de baja presión

Aspersor de mediana presión

Aspersor de alta presión

El requerimiento de presión de los aspersores es muy variado, esto dependerá del tipo de aspersor seleccionado; por ejemplo, un aspersor de baja presión básicamente trabaja con **0.3 a 2 bares** (1 bar = 11 metros columna de agua m.c.a.)

Figura 3.28. Aspersores

Fuente: Instituto de Captación del Oriente, Sistema de Riego Tecnificado.

Tabla 3.7. Presión en aspersores

ASPERSORES	Presión de trabajo [mca]
Baja presión	< 15
Media presión	15 - 30
Alta presión	> 35

- **Distancia entre aspersores y laterales:** La distancia entre aspersores depende del diámetro de riego del aspersor. Para obtener un riego de forma homogénea y desarrollo uniforme de las plantas tiene que haber necesariamente un traslape o sobrepresión entre aspersores.

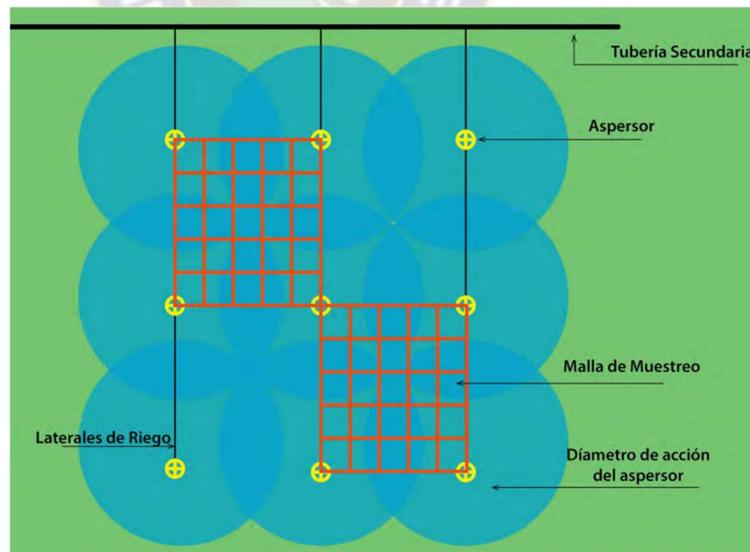


Figura 3.29. Esquema de instalación y distribución de aspersores

Fuente: Instituto de Captación del Oriente, Sistema de Riego Tecnificado.

Distancia comunes o generales que se pueden aplicar con aspersores de mediana presión están en el orden de 10 metros por 10 metros, hasta 15 metros de 15 metros.

– **Ventajas**

- Adaptación al terreno. Se puede aplicar tanto a terrenos planos como a los ondulados o en pendiente, no necesitan preparación de las tierras.
- Es un sistema más conveniente para la aplicación con el agua de fertilizantes, pesticidas y otros productos.
- No tenemos por qué estar presentes en el momento del riego. Mas tiempo libre.
- Se puede prevenir las heladas.
- Se reduce el riesgo de erosión del suelo.
- Mejora el rendimiento de los cultivos significativamente.
- Puede instalarse de manera permanentemente o móvil.
- Se reduce la pérdida del agua.

– **Desventajas**

- Se requiere de componentes caros (bomba hidráulica de alta presión, tuberías, aspersores y otros mecanismos y piezas).
- Se corre el riesgo de promover mayor incidencia de plagas y enfermedades.
- En la aspersión son considerables las pérdidas de agua por evaporación.
- El viento dificulta el reparto uniforme del agua.

3.14. METODOLOGÍA PARA EVOLUCIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DE PROYECTOS DE RIEGO

En el marco del diseño hidráulico de sistema de riego tecnificado por aspersión para la zona de Sojsaña, se empleó la metodología del Viceministerio de Recursos Hídricos y de Riego (2018) para la evaluación económica y financiera del proyecto. Esta metodología tiene como objetivo verificar la viabilidad integral del proyecto, abarcando aspectos técnicos, económicos, financieros, legales, sociales, institucionales, medioambientales, de gestión de riesgos y adaptación al cambio climático. La aplicación de esta evaluación es esencial para fundamentar la toma de decisiones respecto a la asignación de recursos y garantizar el financiamiento del proyecto, alineándose con el Marco Normativo Vigente en Bolivia sobre la Preparación y Evaluación de Proyectos.

3.14.1. Marco Normativo Vigente en Bolivia

De acuerdo con el Reglamento Básico de Preinversión (RBP), vigente desde el 12 de mayo de 2015, la fase de preinversión para proyectos de inversión pública en Bolivia se desarrolla mediante el "Estudio de Diseño Técnico de Preinversión" (EDTP). Esta etapa es esencial para demostrar la viabilidad integral de los proyectos en los aspectos técnico, económico, financiero, legal, social, institucional, medioambiental, y de gestión de riesgos y adaptación al cambio climático, lo cual es un requisito para la asignación de recursos públicos. En el contexto de los proyectos de riego, y específicamente en el diseño de sistemas de riego tecnificado por aspersión, esta evaluación debe alinearse con las directrices establecidas en la "Guía para la Elaboración de Estudios de Diseño Técnico de Preinversión para Proyectos de Riego". La guía proporciona un marco metodológico para asegurar que los diseños no solo sean técnicamente viables, sino que también optimicen el uso de los recursos hídricos y financieros, promuevan la sostenibilidad ambiental, y se adapten a las características específicas de la zona del proyecto, como en el caso de la zona de Sojsaña. Este enfoque integral garantiza que los sistemas de riego diseñados cumplan con los estándares de eficiencia y sostenibilidad requeridos por el marco normativo vigente.

3.14.2. Análisis costo - beneficio

El análisis Costo-Beneficio permite valorar alternativas de inversión mediante la cuantificación monetaria de ingresos y costos, con el objetivo de determinar la rentabilidad de un proyecto en un período definido y servir como guía en la toma de decisiones. Esta metodología facilita dos tipos de evaluación:

- 1. Evaluación Financiera:** Realizada a precios de mercado, se enfoca en analizar la viabilidad económica del proyecto desde la perspectiva de los costos y beneficios que afectan directamente al inversionista.
- 2. Evaluación Económica:** Realizada a precios de cuenta de eficiencia, se centra en el impacto del proyecto en la economía en general, considerando los costos y beneficios en términos de eficiencia económica, independientemente de los precios de mercado.

3.14.2.1. Evaluación Financiera

Según el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (2018), el análisis Costo-Beneficio desde el punto de vista financiero implica comparar los beneficios y costos atribuibles a la ejecución del

proyecto con el fin de emitir un juicio sobre la conveniencia de asignar recursos financieros. Para este análisis, se construye el flujo de caja del proyecto valorado a precios de mercado.

El indicador económico utilizado es el Valor Actual Neto Financiero (VANF), que se interpreta de la siguiente manera:

- **VANF > 0:** El proyecto es financieramente factible.
- **VANF < 0:** El proyecto no es financieramente factible.

3.14.2.2. Evaluación Económica

Según el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (2018), el análisis Costo-Beneficio desde el punto de vista económico implica comparar los beneficios y costos atribuibles a la ejecución del proyecto desde la perspectiva del país en su conjunto. El objetivo es emitir un juicio sobre la conveniencia de su ejecución y su aporte al bienestar social. Para este análisis, se construye el flujo de caja del proyecto valorado a precios económicos mediante la utilización de las Reglas de Política de Costo (RPC).

El indicador económico utilizado es el Valor Actual Neto Económico (VANE), que se interpreta de la siguiente manera:

- **VANE \geq 0:** El proyecto es económicamente favorable.
- **VANE < 0:** El proyecto no es económicamente recomendable, aunque puede ser complementado con otros criterios de evaluación.

CAPITULO IV

FUENTES DE RECURSOS HÍDRICOS PARA DISEÑO AGRONÓMICO

4.1. RECURSO HÍDRICO

4.1.1. *Información meteorológica*

Para obtener datos precisos y relevantes sobre las condiciones climáticas del área de estudio, se recopiló información de las estaciones meteorológicas más cercanas, proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Estas estaciones, localizadas en puntos estratégicos y representados en la Figura 4.1, ofrecen datos esenciales para el análisis detallado de las variables meteorológicas que influyen en el sistema de riego tecnificado. La información recabada es crucial para evaluar la disponibilidad de recursos hídricos y la eficiencia del riego, facilitando la planificación y diseño adecuado del sistema de riego en la zona de Sojsaña.

4.1.2. *Fuentes de agua*

Las principales fuentes de agua disponibles en el área de estudio, la zona de Sojsaña, son aguas subterráneas que emergen en forma de manantiales tipo ladera. Estos manantiales, que surgen de manera natural debido a las condiciones topográficas de la región, abastecen tanto para consumo humano como para riego. El flujo de agua en estos manantiales se aprovecha por gravedad, sin sistemas de regulación operativa adicionales que aseguren una calidad constante del agua o que manejen de manera eficiente los riesgos de contaminación. Esto resulta en un mínimo o nulo contenido de sedimentos en suspensión y facilita el diseño de las obras de captación.

Durante la inspección y visita al lugar, se identificaron manantiales de tipo ladera, con afloramientos bien definidos y localizados de forma puntual. Estos manantiales, denominados A1 y A2, representan fuentes hídricas valiosas para la región.

El análisis de estas fuentes es fundamental para el diseño previo de un sistema de riego tecnificado. La evaluación de las características y la disponibilidad de estas fuentes permitirá determinar las mejores prácticas y el diseño adecuado para maximizar la eficiencia en el uso del agua en la zona de Sojsaña.

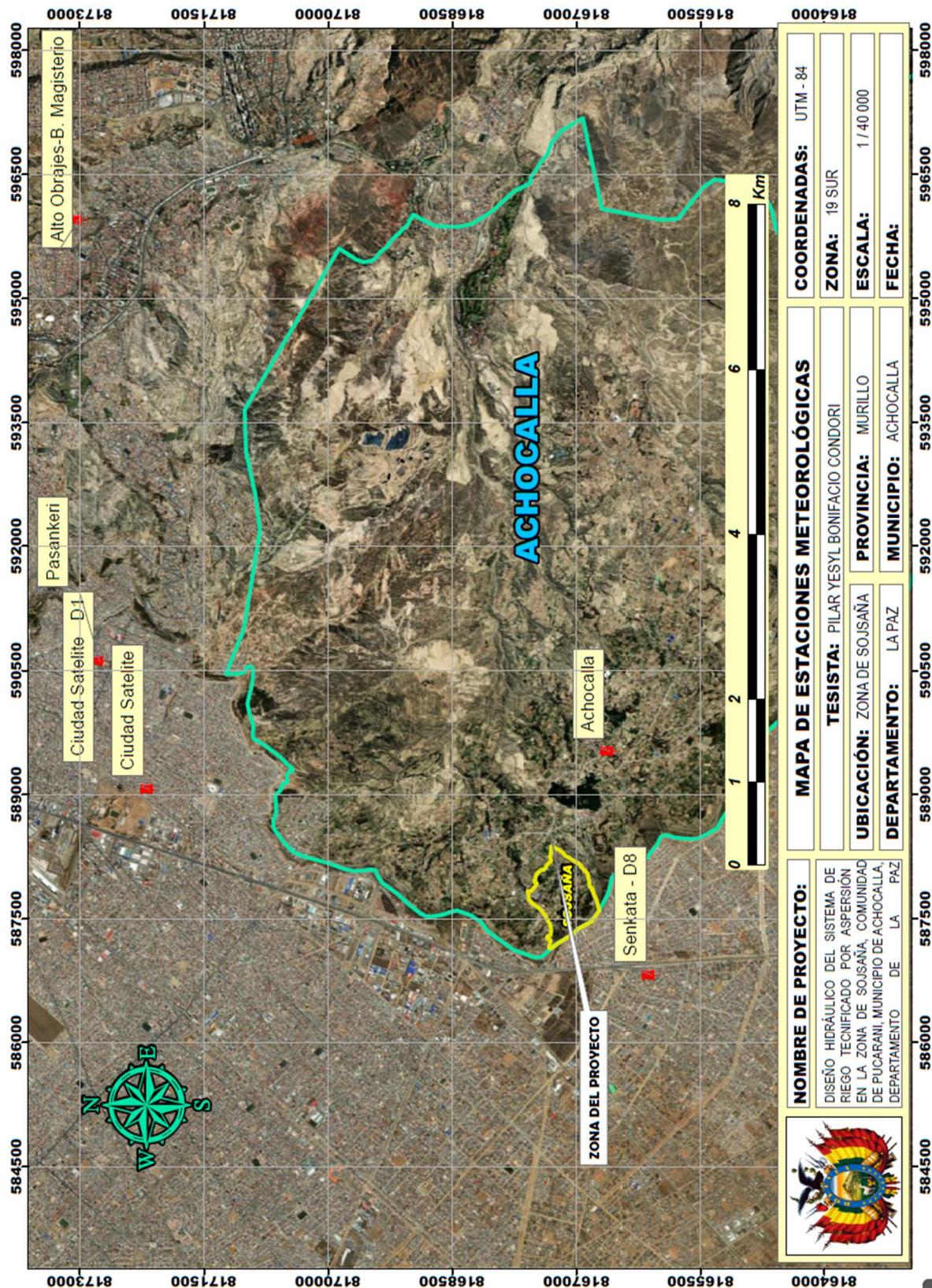


Figura 4.1. Mapa de la ubicación de las estaciones meteorológicas

4.1.3. Inventario de fuentes y aforo de caudales

En el proceso de evaluación de la disponibilidad hídrica en la zona de Sojsaña, se llevó a cabo un detallado inventario de las fuentes hídricas presentes en el área de estudio. Durante esta fase, se identificaron dos manantiales ubicados en sectores distintos, denominados A1 y A2, como se ilustra en las Figura 4.3 y Figura 4.2, respectivamente.

Para determinar la oferta de agua de estos manantiales, se realizó un aforo utilizando el método volumétrico, que permitió medir el caudal de cada fuente. Los resultados obtenidos indicaron un caudal de 4,76 litros por segundo [L/s] para el manantial A1 y 1,94 litros por segundo [L/s] para el manantial A2. Estos caudales son cruciales para la evaluación de la disponibilidad de agua en la región y se detallan en las Tabla 4.1 y Tabla 4.2.



Figura 4.2. Manantial A1 en la zona de Sojsaña

Tabla 4.1. Planilla de aforo A1

ENSAYOS	VOLUMEN [lt]	TIEMPO [seg]	CAUDAL [lt/seg]	CAUDAL PROMEDIO [lt/seg]	CAUDAL [lt/seg]
ENSAYO N° 1	6,0	1,52	3,94	5,16	4,76
	6,0	1,39	4,33		
	6,0	0,83	7,23		
ENSAYO N° 2	6,0	1,50	4,00	4,19	
	6,0	1,39	4,33		
	6,0	1,42	4,23		
ENSAYO N° 3	6,0	1,29	4,66	4,94	
	6,0	1,12	5,37		
	6,0	1,25	4,80		



Figura 4.3. Manantial A2 en la zona de Sojsaña

Tabla 4.2. Planilla de aforo A2

ENSAYOS	VOLUMEN [lt]	TIEMPO [seg]	CAUDAL [lt/seg]	CAUDAL PROMEDIO [lt/seg]	CAUDAL [lt/seg]
ENSAYO N° 1	6,0	3,05	1,97	1,95	1,94
	6,0	3,09	1,94		
	6,0	3,12	1,93		
ENSAYO N° 2	6,0	3,11	1,93	1,93	
	6,0	3,11	1,93		
	6,0	3,10	1,93		
ENSAYO N° 3	6,0	3,09	1,94	1,95	
	6,0	3,10	1,94		
	6,0	3,03	1,98		

Las planillas tipo empleadas durante el aforo se encuentran adjuntas en el ANEXO 3, proporcionando una visión completa del proceso realizado y los métodos aplicados para asegurar la precisión en la determinación de la oferta hídrica.

4.2. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA

4.2.1. Análisis de laboratorio

Para evaluar la calidad del agua de las fuentes ubicadas en la zona de Sojsaña, se realizó un análisis detallado en los laboratorios especializados del Instituto de Ingeniería Sanitaria (IIS) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), tal como se detalla en el ANEXO 4. En este análisis, se consideraron 11 parámetros físico-químicos, de los cuales uno corresponde a un análisis físico y los otros diez a análisis químicos, tal como se muestra en la Tabla 4.3.

Los resultados obtenidos indicaron que todos los parámetros evaluados se encuentran dentro de los límites permitidos por las normativas para uso en riego. En particular, se observó que tanto los parámetros físicos como los químicos cumplen con los estándares necesarios, lo cual confirma que el agua es apta para su uso en sistemas de riego tecnificado. Además, la calidad del agua es tan alta que, bajo ciertas condiciones, podría considerarse incluso apta para el consumo humano.

La adecuada calidad del agua de las fuentes de Sojsaña favorece la implementación de sistemas de riego tecnificado eficientes y sostenibles en la zona de estudio, optimizando los recursos hídricos disponibles y asegurando la salud de los cultivos sin necesidad de tratamientos adicionales significativos. Esta evaluación es fundamental para el diseño y planificación de las obras hidráulicas dentro del proyecto, garantizando que el recurso hídrico no solo cumpla con las exigencias para riego, sino también con los estándares de seguridad ambiental y agrícola.

Tabla 4.3. Análisis de la calidad de Agua

ANÁLISIS QUÍMICO					
N°	PARÁMETROS ANALIZADOS	UNIDADES	RESULTADO	RANGO PERMISIBLE PARA RIEGO	OBSERVACIONES
1	PH (T = 25 °C)	-	7,72	5,5 – 9,0	Cumple
2	CONDUCTIVIDAD (25 °C)	μS/cm	365,00	1500,0	Cumple
3	CALCIO	mg Ca ²⁺ /l	24,80	SI	Cumple
4	MAGNESIO	mg Mg ²⁺ /l	15,07	200,0	Cumple
5	ALCALINIDAD TOTAL	mg CaCO ₃ /l	50,00	370,0	Cumple
	- DE BICARBONATO	mg CaCO ₃ /l	50,00	280,0	Cumple
6	SODIO	mg Na/l	16,15	300,0	Cumple
7	SULFATO	mg SO ₄ ²⁻ /l	15,91	400,0	Cumple
8	CLORURO	mg Cl-/l	55,18	400,0	Cumple
9	NITRATO	mg NO ₃ /l	26,40	40,0	Cumple
10	POTASIO	mg K/l	1,66	SI	Cumple
ANÁLISIS FÍSICO					
N°	PARÁMETROS ANALIZADOS	UNIDADES	RESULTADO	RANGO PERMISIBLE PARA RIEGO	OBSERVACIONES
11	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	mg/l	6,00	10,0	Cumple

Fuente: Análisis Físico – Químico del Agua, IIS.

4.2.2. Determinación de Relación de Absorción de Sodio “RAS”

Para evaluar la calidad del agua de riego de la fuente hídrica de Sojsaña, se determinó el valor de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), un parámetro crítico para analizar el contenido de sodio en relación con los cationes calcio y magnesio, y así estimar el riesgo potencial de sodicidad en los suelos. Los valores de laboratorio obtenidos fueron los siguientes: Na⁺ = 0,70 [meq/l], Ca⁺²

= 1,24 [meq/l], $Mg^{+2} = 1,24$ [meq/l]. La RAS se calculó utilizando la siguiente expresión matemática:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{+2}}{2}}} = \frac{0,70 \text{ meq/l}}{\sqrt{\frac{1,24 \text{ meq/l} + 1,24 \text{ meq/l}}{2}}} = 0,63$$

Donde:

$$Na^+ = \text{meq/l} = \text{mg/l} * 0,0434$$

$$Ca^{+2} = \text{meq/l} = \text{mg/l} * 0,0499$$

$$Mg^{+2} = \text{meq/l} = \text{mg/l} * 0,0822$$

Los iones Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} representan las concentraciones de sodio, calcio y magnesio del agua de riego, expresadas en [meq/litro]. Esta fórmula es fundamental para determinar el potencial del agua de riego para causar problemas de sodicidad en los suelos. Un valor bajo de RAS, como el obtenido, sugiere un menor riesgo de problemas asociados con el sodio, lo que favorece la estructura y permeabilidad del suelo, factores esenciales para la eficiencia del sistema de riego en la zona de Sojsaña.

Los resultados obtenidos fueron evaluados utilizando el ábaco propuesto en la Figura 4.4, el cual permite clasificar el agua según su aptitud para riego en función de la conductividad eléctrica (CE) y el índice de RAS, conforme a las Normas Riverside (Wilcox – Thome – Peterson) y la clasificación de aguas de la USDA. Esta herramienta gráfica facilita la identificación del potencial impacto de la salinidad y sodicidad en la calidad del suelo y la productividad de los cultivos, proporcionando una guía para el manejo adecuado del agua en el sistema de riego tecnificado.

Con los valores de $RAS = 0,63$ y una Conductividad Eléctrica (CE) = 0,37 [mS/cm] (equivalente a 365 μ S/cm), la evaluación mediante el diagrama de clasificación del USDA concluyó que las aguas provenientes de los manantiales de la zona de Sojsaña pertenecen a la **Clase C2 – S1**, lo cual las clasifica como "**Aguas de buena calidad aptas para riego**". Esta clasificación indica que las aguas tienen un nivel moderado de salinidad y un bajo riesgo de sodicidad, lo que las hace adecuadas para su uso en riego sin restricciones significativas.

Es importante resaltar que un alto índice de RAS en el agua de riego puede provocar problemas como la reducción de la infiltración, el deterioro de la estructura del suelo y la toxicidad

para las plantas. Sin embargo, los valores obtenidos en esta evaluación sugieren un bajo riesgo de estos efectos adversos, asegurando la sostenibilidad del uso de estas aguas en el riego tecnificado dentro de la zona del proyecto.

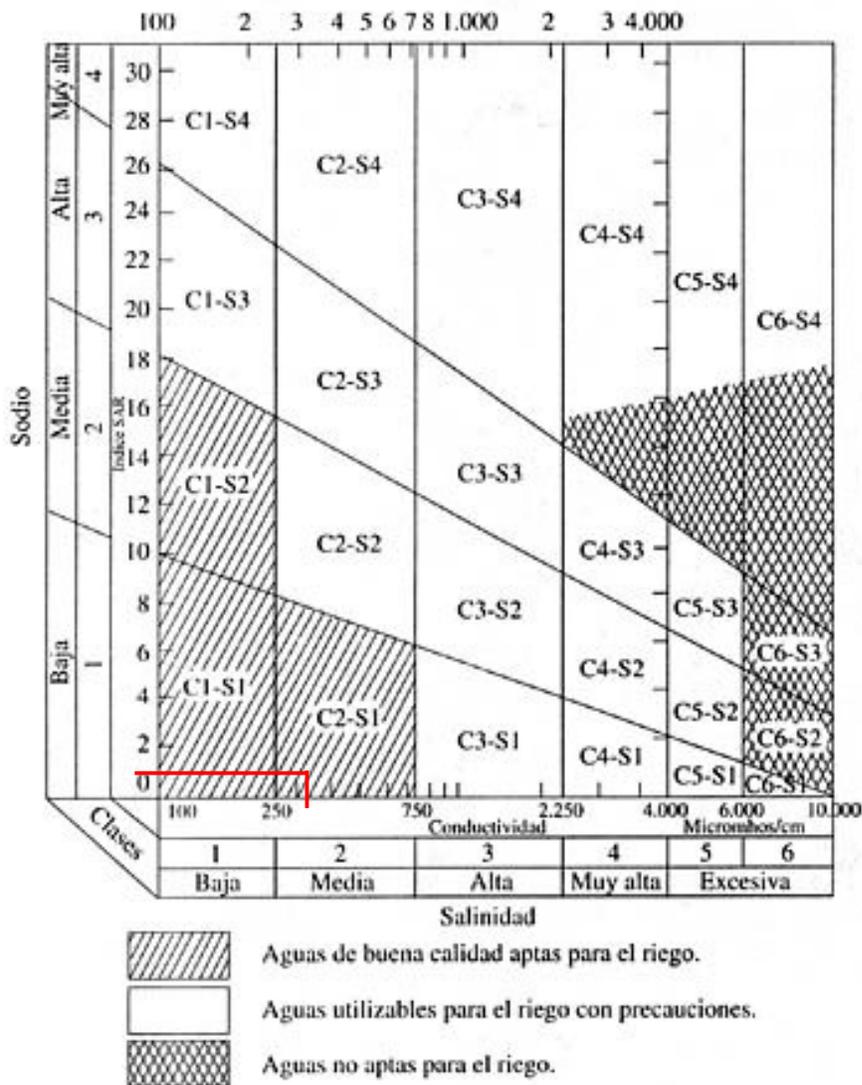


Figura 4.4. Clasificación de las aguas según la salinidad (CE y TDS)

Fuente: Blasco y de la Rubia (Laboratorio de suelos IRYDA, 1973).

4.2.3. Determinación del Porcentaje de Sodio Intercambiable “PSI”

En el análisis de la calidad de agua de la fuente hídrica de la zona de Sojsaña, se consideró el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) como un parámetro clave para evaluar el riesgo de sodicidad en los suelos regados con esta agua. El PSI, según lo presentado por Suarez et al. (1985) para la FAO, se utiliza para estimar el potencial impacto del sodio presente en el agua sobre la

estructura del suelo, lo cual es fundamental para asegurar la viabilidad de los cultivos en la zona de estudio.

Para el PSI se calcula mediante:

$$PSI = Na + [meq/l] * 100 \text{ suma de cationes } Na^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^+ [meq/l]$$

Sustituyendo los valores obtenidos del análisis de laboratorio para los cationes presentes en el agua de la fuente de Sojsaña, donde:

$$Na^+ = 0,7 [meq/l] \text{ (convertido a partir de [mg/l] con un factor de 0,0434)}$$

$$Ca^{+2} = 1,24 [meq/l] \text{ (convertido a partir de [mg/l] con un factor de 0,0499)}$$

$$Mg^{+2} = 1,24 [meq/l] \text{ (convertido a partir de [mg/l] con un factor de 0,0822)}$$

$$K^+ = 0,05 [meq/l] \text{ (convertido a partir de [mg/l] con un factor de 0,0321)}$$

Se obtiene el siguiente calculo:

$$PSI = 0,70 [meq/l] * 100 + 0,70 [meq/l] + 1,24 [meq/l] + 1,24 [meq/l] + 0,05 [meq/l] = 21,67$$

Este valor de PSI = 21,67 indica que las aguas de la fuente hídrica de Sojsaña son adecuadas para el riego, con un bajo riesgo de afectación negativa en la estructura del suelo y sin comprometer la salud de los cultivos debido a la salinidad o la sodicidad. La calidad del agua favorece el desarrollo sostenible de la actividad agrícola en la región, optimizando la eficiencia del riego y minimizando la necesidad de tratamientos adicionales para corregir problemas de salinidad o sodicidad.

Adicionalmente, según el ábaco propuesto en la Figura 4.5, se procedió a la clasificación de las aguas utilizando los parámetros de conductividad eléctrica (CE) y PSI bajo la clasificación GENE – WILCOX. Con una conductividad eléctrica de CE = 0,37 [mS/cm] (equivalente a 365 μ S/cm) y un PSI de 21,67, se determinó que las aguas de los manantiales en la zona del proyecto se clasifican dentro de la categoría "**Excelente a Buena**". Esta clasificación reafirma la idoneidad del agua para riego, contribuyendo al diseño de un sistema de riego tecnificado eficiente y adecuado para las condiciones específicas de la zona de Sojsaña.

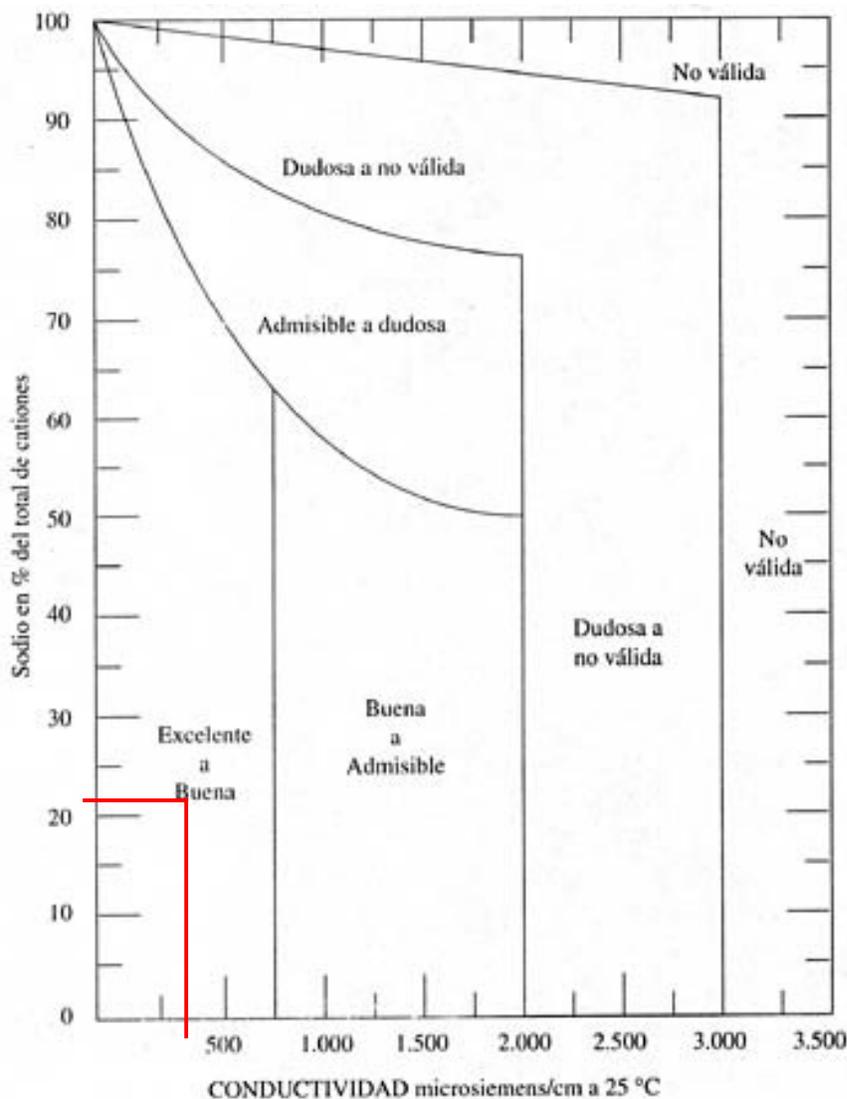


Figura 4.5. Clasificación de las aguas de riego basada en el riesgo de salinidad

Fuente: Cánovas, 1986.

4.3. CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS

4.3.1. Determinación empírica de la tensión admisible – Método de la barra dinámica de California – CDG

En la zona de Sojsaña, se llevó a cabo un ensayo in situ para determinar la tensión admisible del suelo " σ_{adm} ", utilizando el método de la barra dinámica de California. Este método, particularmente efectivo para suelos granulares, se basa en la medición de la penetración obtenida mediante el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), como se muestra en la Figura 4.6. La aplicación de este procedimiento permitió evaluar de manera precisa y empírica la capacidad

portante del terreno, proporcionando datos críticos para el diseño estructural y la ubicación segura de las obras civiles proyectadas en la zona de estudio.

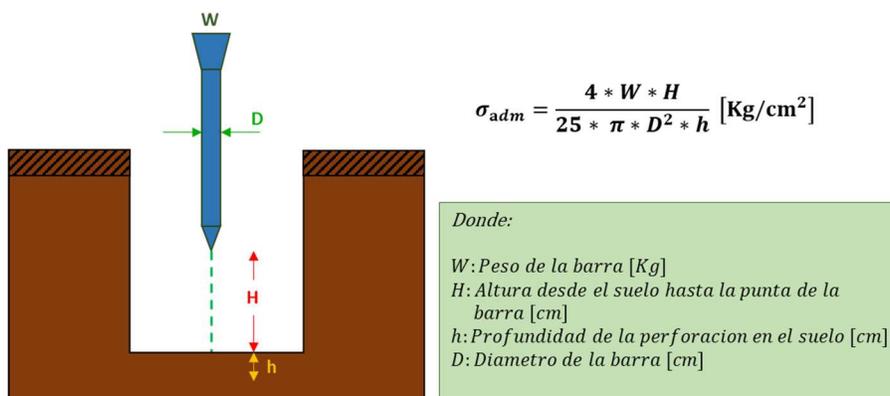


Figura 4.6. Cálculo del esfuerzo admisible del suelo método de la barra in situ

Los resultados del ensayo indicaron una capacidad portante admisible de $1,53 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$ para el diseño del tanque de almacenamiento. En el caso de la obra de captación tipo ladera, se obtuvo una capacidad portante de $1,25 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$, tal como se detalla en el ANEXO 5. Estos valores son esenciales para asegurar la estabilidad y seguridad de las estructuras en la zona de estudio, ajustándose a las especificaciones técnicas requeridas para las condiciones geotécnicas locales.

4.3.2. Análisis Granulométrico

La granulometría del suelo, también conocida como análisis de textura, es un proceso esencial tanto en la agricultura a gran escala como en el manejo de suelos de huertos. Este análisis determina la proporción relativa de partículas de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. La información obtenida es crucial para entender las propiedades físicas del suelo, ya que influye en su capacidad para retener agua y nutrientes, así como en el sostenimiento de las plantas y el desarrollo de las raíces. Estos factores condicionan el buen desarrollo de los cultivos. Los resultados del análisis granulométrico del suelo en la zona de Sojsaña se detallan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Composición del suelo de Sojsaña

COMPOSICIÓN DEL SUELO	[%]
ARCILLA	20
LIMO	30
ARENA	50

Fuente: Diagnostico de la microcuenca de Achocalla (SEMATA)

La clasificación textural del suelo en la zona de Sojsaña se determinó utilizando el triángulo de texturas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés: United States Department of Agriculture), como se muestra en la Figura 4.7. Los resultados del análisis indican que *el suelo de la zona es de tipo Franco-Arcilloso-Arenoso*. Este tipo de suelo se caracteriza por una textura equilibrada, compuesta por una mezcla de arena, limo y arcilla en proporciones relativamente iguales.

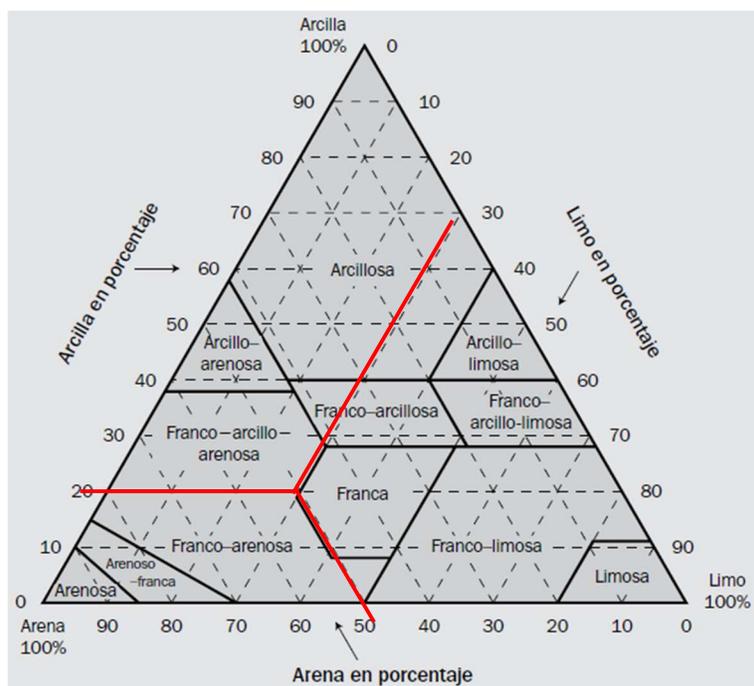


Figura 4.7. Triángulo de texturas USDA

Esta composición proporciona al suelo una serie de propiedades físicas y químicas que lo hacen adecuado para una amplia gama de cultivos, ofreciendo un entorno propicio para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas.

4.4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TERRENO DE CULTIVO

4.4.1. Calendario agrícola

El calendario agrícola es una herramienta esencial para los agricultores de la región, ya que les permite planificar sus actividades de acuerdo con las condiciones climáticas y los ciclos de desarrollo de los cultivos. Este calendario se basa en el conocimiento ancestral de las comunidades indígenas, adaptado a las condiciones específicas de cada zona.

En la zona de Sojsaña, ubicada en el altiplano, se presentan terrenos accidentados e irregulares con pendientes que son aptas para la agricultura de cultivos alto-andinos. Entre los cultivos más comunes en esta área se incluyen la papa, cebada, haba, maíz, arveja y diversas hortalizas. Las épocas de siembra en la zona de Sojsaña, detalladas en el Cuadro 4.1, están adaptadas a las condiciones climáticas locales y a los tipos de cultivo predominantes en el área del proyecto.

Cuadro 4.1. Calendario agrícola propuesta por la zona de Sojsaña

CULTIVO	MESES DEL AÑO											
	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
PAPA:				SIEMBRA								
CEBADA:						SIEMBRA						
MAÍZ:					SIEMBRA							
HABA Y ARVEJA:						SIEMBRA						
HORTALIZAS:												SIEMBRA

Fuente: Encuestas a los pobladores de la zona de Sojsaña.

4.4.2. Factores de riesgo de la producción

En la zona de Sojsaña, los principales riesgos que afectan la producción agrícola incluyen eventos climáticos adversos como granizos, sequías y heladas. Estos fenómenos pueden tener un impacto significativo en el rendimiento de los cultivos y en la estabilidad de la producción agrícola. Los meses en los que es probable que ocurran estos eventos se detallan en el Cuadro 4.2, proporcionando una visión general de los periodos críticos en los que los agricultores deben estar particularmente atentos para mitigar los riesgos y planificar sus actividades agrícolas de manera efectiva.

Cuadro 4.2. Factores de riesgo en la producción en la zona de Sojsaña

Nº	FACTOR CLIMÁTICO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	GRANIZOS:												
2	SEQUIAS:												
3	HELADAS:												

Fuente: Encuestas a los pobladores de la zona de Sojsaña.

4.5. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO, (ET_o)

La evapotranspiración de cultivo es una medida crucial en la agricultura y la gestión del agua, ya que cuantifica la cantidad total de agua que una parcela de cultivo pierde a la atmósfera debido a la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Este parámetro es esencial para

determinar la cantidad de agua necesaria para el riego y asegurar el crecimiento y desarrollo óptimo de los cultivos.

Para calcular la evapotranspiración de referencia (ETo), se empleó el método de Penman-Monteith, el cual está estandarizado en el Abro 02 ver 3.1 Tabla 4.5 y es reconocido a nivel global por su precisión en la estimación de la ETo . Los datos meteorológicos obtenidos para el período de interés permitieron calcular la ETo diaria, mensual y anual, así como analizar su evolución a lo largo del tiempo. Esta información es fundamental para entender los patrones de demanda de agua de los cultivos y planificar de manera efectiva las necesidades de riego, como se detalla en el ANEXO 6.

Tabla 4.5. Evapotranspiración de cultivo de referencia, (ETo) – Zona Sojsaña

ETo CALCULADO [mm/día]											
JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
2,81	2,83	3,28	3,73	4,12	4,35	4,19	3,82	3,73	3,59	3,39	3,12

Fuente: ABRO 02 v 3.1.

4.6. ÁREAS DE RIEGO

4.6.1. Parámetros preliminares para sistema de riego

Las áreas destinadas para la implementación del sistema de riego tecnificado en la zona de Sojsaña abarcan aproximadamente *13,96 hectáreas*. La selección de estas áreas se ha realizado considerando las características topográficas específicas del área de estudio, tal como se ilustra en la Figura 4.8. Esta asignación de áreas permite una optimización del sistema de riego al alinearse con la topografía del terreno, facilitando una distribución eficiente del agua para los cultivos.

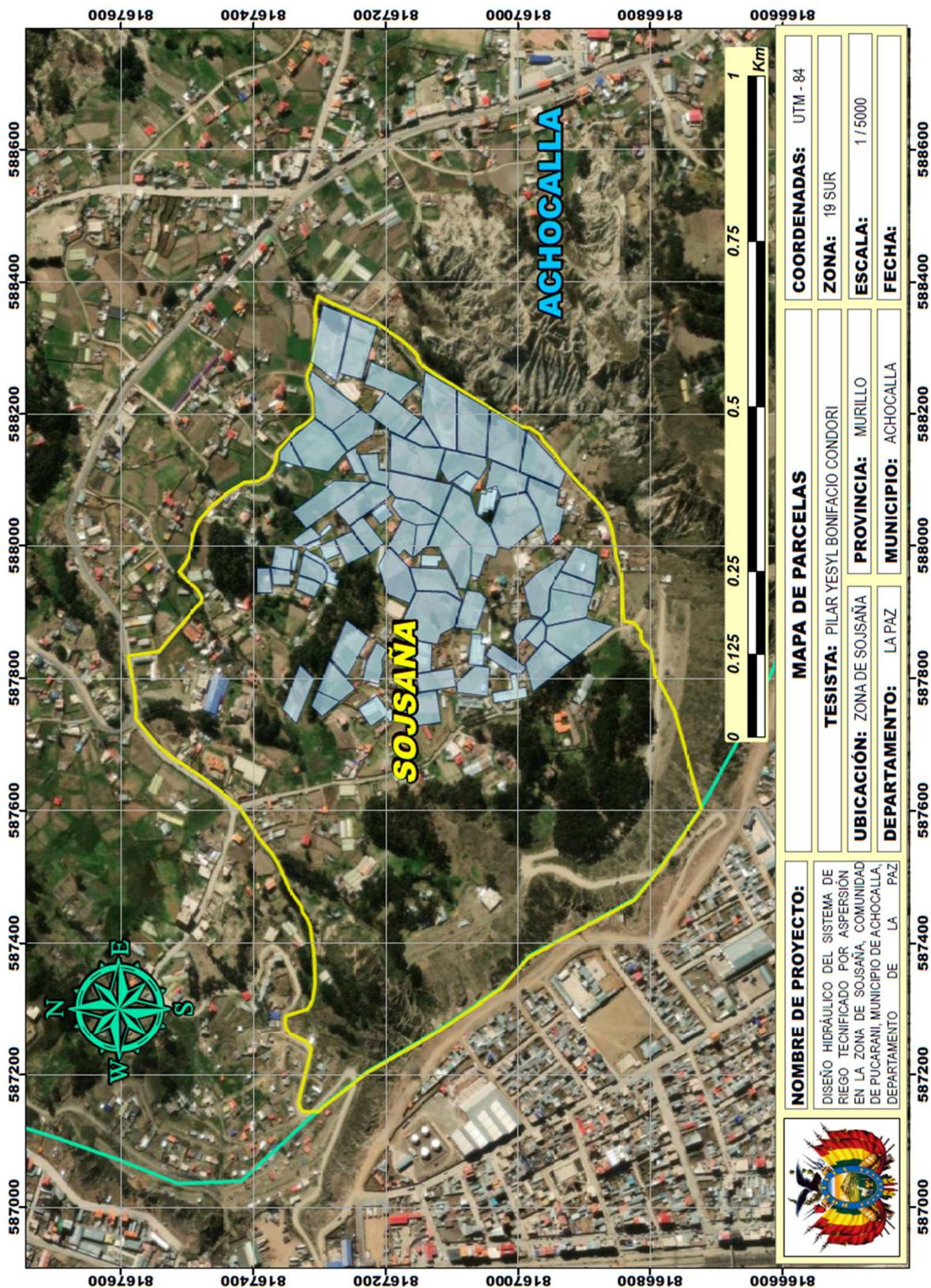


Figura 4.8. Mapa de las parcelas de riego

4.6.2. *Parámetros del suelo*

Para garantizar una distribución eficiente del agua en el diseño de un sistema de riego tecnificado, es fundamental comprender a fondo las características del suelo en la zona de cultivo, ya que estas influyen directamente en la eficiencia del riego y en la productividad de los cultivos. En la zona de Sojsaña, el suelo presenta una textura Franco-Arcilloso-Arenosa, con una predominancia de componentes arenosos característicos de la región. Esta composición textural confiere al suelo una buena capacidad de drenaje y una adecuada aireación, factores que son cruciales para el óptimo desarrollo radicular y la salud general de los cultivos.

El pH del suelo se ha determinado en 7.5, lo cual indica una condición neutra. Este valor es ideal para la mayoría de los cultivos agrícolas, ya que evita los problemas asociados con suelos ácidos, tales como la reducción en la disponibilidad de nutrientes esenciales y los posibles efectos tóxicos en las plantas.

Para calcular la Velocidad de Infiltración Básica del suelo, se consideró un valor de 20 [mm/h], correspondiente a la textura observada. Este valor sugiere una tasa de infiltración moderada, lo cual es adecuado para los suelos de la zona, permitiendo una retención óptima de agua sin causar saturación excesiva o escorrentía superficial. La adecuada infiltración y aireación del suelo son esenciales para mantener un balance hídrico que favorezca tanto el suministro de agua a las raíces como la prevención de problemas de anegamiento, garantizando así la eficiencia y efectividad del sistema de riego propuesto. Los detalles específicos de estos parámetros y su influencia en el diseño del sistema de riego se presentan en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Parámetros del Suelo

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS
pH:	7.5
Análisis textural:	Franco Arcilloso Arenoso
Capacidad de campo:	29 [%]
Densidad aparente, D_a :	1,4 [gr/cm ³]
Densidad del agua, D_w :	1,0 [gr/cm ³]
Punto de Marchitez Permanente (PMP):	15 [%]
VIB:	20 [mm/hr]

4.6.3. *Parámetros de cultivo*

Los parámetros de cultivo son factores críticos que deben ser monitoreados y ajustados cuidadosamente para asegurar un crecimiento y desarrollo óptimo de los cultivos en la zona de

Sojsaña. Estos parámetros abarcan tanto aspectos biológicos como ambientales, cuya importancia y manejo adecuado varían en función del tipo de cultivo, las condiciones climáticas locales y las prácticas agrícolas empleadas en la región.

La gestión eficaz de estos parámetros es esencial para maximizar la productividad y eficiencia del sistema agrícola en Sojsaña, permitiendo a los agricultores ajustar sus prácticas para enfrentar las variabilidades climáticas y optimizar los insumos utilizados. Los detalles y valores específicos de estos parámetros, junto con las recomendaciones para su manejo, se presentan de manera detallada en la Tabla 4.7, proporcionando una guía práctica para la implementación de estrategias agrícolas que promuevan la sostenibilidad y la resiliencia de los cultivos en la región.

Tabla 4.7. Parámetros de Cultivo

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS
	C:
	PAPA
Fase:	Intermedio
Distancia entre Plantas:	0,4 [m]
Distancia entre Surcos:	0,9 [m]
Ciclo:	151 [días]
Factor de agotamiento:	50 [%]
Profundidad radicular efectiva, H:	0,5 [m]
Kc (máximo - Diseño):	1,08 [m]
Demanda neta (Etr - Pe) más crítico:	2,08 [m]
Siembra:	Agosto

4.6.4. Parámetros del sistema de riego

Los parámetros de los sistemas de riego tecnificado son factores clave que deben ser cuidadosamente evaluados y optimizados para asegurar un diseño, implementación y operación eficiente de los sistemas de riego en la zona de Sojsaña. En particular, para el sistema de riego por aspersión, se ha establecido una presión media de 3,0 [Bar] como estándar operativo para los aspersores, lo cual permite una distribución uniforme y eficaz del agua a lo largo de las parcelas cultivadas.

La elección de esta presión se fundamenta en la necesidad de garantizar una cobertura adecuada del agua sobre los cultivos, minimizando las pérdidas por viento y asegurando que el riego sea homogéneo en toda la superficie. Además, se han considerado condiciones topográficas específicas del área de estudio para establecer eficiencias óptimas, permitiendo que el sistema de riego se adapte eficazmente a las particularidades del terreno. Estos parámetros son esenciales para

maximizar la eficacia y sostenibilidad del sistema de riego, reduciendo los desperdicios y mejorando la gestión de los recursos hídricos en la zona de Sojsaña.

Los detalles específicos de estos parámetros, así como sus implicaciones para el diseño del sistema de riego tecnificado por aspersión en Sojsaña, se presentan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Parámetros del sistema de riego tecnificado

SISTEMA DE RIEGO	
Método:	Aspersión
Eficiencia, Ea:	85 [%]
EFICIENCIAS DEL SISTEMA	
Captación:	99 [%]
Conducción:	99 [%]
Distribución:	96 [%]
Aplicación:	85 [%]
Beneficiarios:	46 usuarios

4.7. PARÁMETROS PRELIMINARES DE DISEÑO AGRONÓMICO

4.7.1. Trabajo de gabinete

Para el diseño agronómico del sistema de riego en la zona de Sojsaña, se han calculado detalladamente los parámetros de riego esenciales, como se especifica en el ANEXO 8. Estos cálculos abarcan aspectos clave como la lámina de riego, la frecuencia de riego y la eficiencia del sistema, todos fundamentales para asegurar un suministro hídrico adecuado a los cultivos. A continuación, se presenta un resumen de los datos y métodos empleados para garantizar un diseño eficiente y adecuado del sistema de riego, en función de las condiciones específicas de la zona, como se muestra en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Parámetros preliminares de diseño agronómico

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	INVIERNO	PRESIÓN
Caudal disponible de la fuente	[L/s]	17,87	17,87
Volumen disponible/ciclo de riego	[m ³ /ciclo de riego]	10805,76	10805,76
Número de acciones de agua (1 por familia)	[acción de agua]	46	46
Volumen por familia (acción de agua)	[m ³ /riego]	235	235
Número de riegos	[evento]	1	1
Volumen por riego (en toma)	[m ³ /riego]	235	235
Eficiencia de conducción	[%]	96	96
Eficiencia de distribución	[%]	98	98
Volumen disponible en parcela	[m ³ /riego]	222	222
Requerimiento riego máximo (Evapotranspiración)	[mm/día]	4,35	4,35
Requerimiento riego de diseño	[mm/día]	4,35	4,35

Frecuencia de riego	[días]	7,0	5,0
Lamina neta	[mm]	36,75	36,75
Lamina bruta	[mm]	36,54	36,54

4.7.1.1. Cálculo de la dosis de riego - humedad aprovechable

La lámina de agua necesaria (Lam) se determinó considerando los parámetros del suelo, como la capacidad de campo, el punto de marchitez, la densidad aparente y la profundidad efectiva de las raíces, establecida en $\frac{3}{4}$ de la profundidad total. Se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Lam} = \text{HA} = \frac{(\text{CC} - \text{PMP})}{100} * \text{Pef} * \frac{\text{D}_a}{\text{D}_w} = \frac{(29 - 15)}{100} * \frac{3}{4} * 0,5 * 1000 * \frac{1,4}{1,0} = 73,5 \text{ [mm]}$$

Donde:

Lam: Lámina de agua [mm]

HA: Humedad aprovechable [mm]

CC: Contenido de humedad del suelo a capacidad de campo [% en peso]

PMP: Contenido de humedad del suelo al Punto de Marchitez Permanente [% en peso]

Pef: Profundidad efectiva de raíces [mm].

Da: Densidad aparente del suelo [g/cm³].

Dw: Densidad de agua (1,00 [g/cm³]).

Esta lámina de agua representa la cantidad que debe ser aplicada para satisfacer las necesidades de los cultivos, teniendo en cuenta las características del suelo y su capacidad de retención de agua.

4.7.1.2. Cálculo de la humedad fácilmente aprovechable – Lamina neta

La lámina neta (Ln) es la cantidad de agua útil que debe ser repuesta al suelo en cada turno de riego para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. Se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Ln} = \text{HAF} = \text{HA} * \text{NR} * \text{PAR} = 73,5 * 0,50 * 1,00 = 36,75 \text{ [mm]}$$

Donde:

Ln: Lámina neta [mm]

HFA: Humedad fácilmente aprovechable [mm]

HA: Humedad aprovechable [mm]

NR: Nivel de Reposición [criterio de riego]

PAR: Porcentaje de Área a Regar (1 para riego por aspersión)

La lámina de agua necesaria asegura que el suelo mantenga la humedad adecuada para el óptimo crecimiento y desarrollo de los cultivos.

4.7.1.3. Cálculo de la Lamina Bruta

La lámina bruta (Lb) es el volumen total de agua que debe aplicarse, considerando la eficiencia media de aplicación del sistema de riego. Para el sistema de riego por aspersión, con una eficiencia media de aplicación (Ea) del 85%, se calculó la lámina bruta utilizando la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{Ln_{ajuste}}{Ea} = \frac{31,06 [mm]}{85} = 36,54 [mm]$$

Donde:

Lb: Lamina bruta a aplicar [mm]

Ln: Lamina neta de agua a aplicar [mm]

Ea: Eficiencia de aplicación del agua [%]

4.7.2. Parámetros del aspersor

Para el diseño agronómico del sistema de riego por aspersión en la zona de Sojsaña, se ha optado por el aspersor *Naandanjain JL-1 (1/2")*. Este modelo ha sido seleccionado por su capacidad para proporcionar una cobertura total y eficiente sobre el follaje, asegurando una distribución uniforme del agua. Los parámetros específicos del aspersor, detallados en la Tabla 4.10, incluyen la presión nominal, el caudal y el diámetro, los cuales son esenciales para garantizar una aplicación efectiva del agua. La elección del aspersor Naandanjain JL-1 responde a su diseño adaptado a las necesidades específicas del riego en la zona, como se ilustra en la Figura 4.9. Este aspersor asegura una cobertura adecuada, optimizando el uso del recurso hídrico y contribuyendo a la eficiencia del sistema de riego.



Presión nominal, P =	3,0 [Bar]
Caudal nominal, Q =	0,756 [m³/h]
Diámetro nominal, D =	24,0 [m]

Figura 4.9. Aspersor JL – 1 1/2"

Fuente: Catalogo Naandanjain Irrigation Company.

Tabla 4.10. Parámetros del aspersor

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS
Modelo:	Naandanjain JL-1 1/2"
Boquilla:	3,5
Presión Nominal:	3 [bar]
Diámetro Nominal:	24 [m]
Caudal Nominal:	0,756 [m³/hr]
	0,210 [l/s]
Velocidad del viento:	2,5 [m/s]
Traslape:	60,00 [%]

4.7.2.1. Cálculo del espaciamiento entre aspersores

El espaciamiento entre aspersores es un factor crucial en el diseño del sistema de riego tecnificado, ya que está influenciado por la velocidad del viento, la presión del agua y la altura, los cuales afectan el traslape del riego. Para determinar el espaciamiento adecuado, se consideró la velocidad promedio del viento en la zona de Sojsaña, que es de 2,50 m/s, según datos obtenidos de la página web: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>.

Por lo cual el traslape considerado fue de 60 [%]. Obteniendo un valor de:

$$S = 14,40 \text{ [m]}.$$

Donde:

S: Espaciamiento entre aspersores [m].

Este cálculo asegura que la distribución del agua sea uniforme y eficiente, considerando las condiciones de viento prevalecientes en la zona, lo que es esencial para mantener una cobertura adecuada y evitar áreas secas o encharcadas.

4.7.2.2. Cálculo del área de riego del aspersor o área útil

Para determinar el área útil de riego del aspersor, se asumió una disposición cuadrática, en la que el espaciamiento entre aspersores es igual al espaciamiento entre laterales. Este parámetro se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$A_{asp} = S_a * S_l = 14,40 * 14,40 = 207,36 [m^2]$$

Donde:

A_{asp} : Área de cobertura del aspersor o área útil [m^2].

S_a : Espaciamiento entre aspersores.

S_l : Espaciamiento entre laterales.

El cálculo del área útil de riego asegura que se tenga en cuenta la cobertura efectiva del aspersor, permitiendo una distribución adecuada del agua sobre la superficie de riego. Este parámetro es crucial para garantizar que el sistema de riego proporcione una cobertura uniforme y eficiente, optimizando el uso del recurso hídrico en la zona de Sojsaña.

4.7.2.3. Cálculo de la precipitación horaria del aspersor

Conociendo el caudal del aspersor seleccionado y el área de cobertura de riego, se calculó la precipitación horaria del aspersor, un parámetro esencial para garantizar que la aplicación de agua no cause encharcamientos en los cultivos. La precipitación horaria se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$PHr = \frac{q}{A_{asp}} = \frac{0,756}{207,36} * 1000 = 3,65 [mm/h]$$

$$PHr \leq \text{Velocidad de Infiltración}$$

Donde:

PHr : Precipitación horaria del aspersor [mm/h].

q : Descarga de agua del aspersor elegido [m^3/h o l/s].

Aasp: Área de cobertura del aspensor o área útil [m²].

El cálculo de la precipitación horaria garantiza que la cantidad de agua aplicada por el aspensor se ajuste a las necesidades hídricas de los cultivos, evitando problemas de encharcamiento y asegurando una distribución uniforme del agua. Este parámetro es fundamental para la optimización del sistema de riego y la eficiencia en el uso del recurso hídrico en la zona de Sojsaña.

4.7.2.4. Cálculo del tiempo de aplicación o tiempo de riego

El tiempo de riego necesario para aplicar la lámina bruta se calcula con base en la precipitación horaria del aspensor. Utilizando la ecuación:

$$Tr = \frac{Lb}{PHr}$$

Donde:

Tr es el tiempo de riego por posición del aspensor [h].

Lb es la lámina bruta [mm].

PHr es la precipitación horaria del aspensor [mm/h]

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$Tr = \frac{36,50 [mm]}{3,65 [mm/h]} = 10,02 [horas]$$

Este cálculo indica que el tiempo de riego requerido por posición del aspensor es de 10,02 horas. Sin embargo, se ha asumido un tiempo de riego por aspersión de 9,00 horas, ajustando así el tiempo necesario para una aplicación efectiva del agua y para evitar encharcamientos o déficit hídrico en los cultivos.

4.8. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DEL CAUDAL PARA RIEGO

La cantidad de agua necesaria para satisfacer las demandas de riego en el área de cultivo de la zona de Sojsaña depende de diversos factores, y su cálculo es crucial para garantizar un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico en la agricultura.

Dado que las redes de riego se diseñarán a nivel de una red colectiva, se asignará el mismo cupo de caudal a todas las parcelas. Esta decisión responde a la necesidad de simplificar el diseño, dado que la topografía y la presión varían a lo largo de la zona. Al no existir preferencias

específicas en cuanto a la distribución del caudal, y considerando que el tamaño de las parcelas influye en la cantidad de agua necesaria, se optó por una red colectiva en lugar de una red parcelaria.

El cálculo de la demanda de agua se ha llevado a cabo considerando la distribución de laterales de riego, que son determinantes para definir el caudal necesario. Además, se han realizado estudios de balance hídrico para planificar el riego de manera sostenible y evitar el uso excesivo del agua. Los detalles de este cálculo se presentan en la Tabla 4.11 y están respaldados por la información contenida en el ANEXO 8.

Tabla 4.11. Estimación de la demanda del caudal del riego

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRESIÓN MEDIA	PRESIÓN BAJA
Caudal por aspersor	[L/s]	0,21	0,09
Caudal por lateral de riego	[L/s]	2,10	2,07
Eficiencia del sistema	[%]	82	82
Caudal de diseño por hidrante	[L/s]	2,55	2,51
Caudal de diseño por bloque de riego	[L/s]	2,55	2,51
Caudal de operación del sistema	[L/s]	17,82	17,54
Caudal de oferta del sistema	[L/s]	17,87	17,87

4.8.1. Demanda total de agua para riego por ABRO

Para la determinación de la demanda total de agua para riego en la zona de Sojsaña, se ha empleado el programa del Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios para calcular el Área Bajo Riego Óptimo (ABRO) Figura 4.10. Este programa constituye una herramienta esencial para estimar la demanda de agua, considerando diversas variables climáticas y técnicas que influyen en el diseño del sistema de riego.



Figura 4.10. Programa de Cálculo del Área Bajo Riego Óptimo (ABRO)

En el análisis de riego tecnificado realizado para la zona de Sojsaña, se utilizó el programa ABRO 02 versión 3.1, que requiere la introducción de la siguiente información:

- Precipitación pluvial del área de Sojsaña [mm]
- Temperaturas máximas y mínimas [°C]
- Humedad relativa (optativo)
- Longitud y latitud de la zona de Sojsaña
- Área regable con y sin proyecto de riego [Ha]
- Capacidad de aducción [L/s]
- Eficiencias del sistema
- Altura sobre el nivel del mar

El análisis de los resultados obtenidos mediante el programa ABRO ha establecido que la cantidad de agua necesaria a nivel de fuente para proporcionar un riego con presión media es de **22.93 [L/s] anual**. Este caudal es suficiente para cubrir una superficie de riego óptimo de aproximadamente **13,96 [Ha]**, obteniendo un área incremental de **13.42 [Ha]**. Los detalles y resultados completos del análisis se encuentran documentados en el ANEXO 6.

4.9. FRECUENCIA Y TURNOS DE RIEGO POR HIDRANTES

Para el presente proyecto la frecuencia y los turnos de riego se diseñó en función de una **distribución multifujo**, también conocido como riego por microzonas. Este enfoque implica dividir el flujo del agua en múltiples salidas (hidrantes) para regar varias zonas (parcelas) simultáneamente, optimizando así el diseño de tuberías y garantizando una distribución relativamente uniforme del agua.

Se adoptó una agrupación por bloques compuestos por aproximadamente 7 hidrantes por bloque Tabla 4.12. La distribución de los bloques de riego está detallada en la siguiente tabla:

Tabla 4.12. Distribución de bloques de riego

BLOQUE 1	Hidrantes	Área [Ha]	BLOQUE 2	Hidrantes	Área [Ha]	BLOQUE 3	Hidrantes	Área [Ha]
	H1	0,425		H10	0,242		H13	0,159
H2	0,339	H11	0,484	H14	0,323			
H3	0,326	H12	0,453	H15	0,181			
H4	0,483	H6	0,266	H16	0,348			
H5	0,225	H7	0,334	H17	0,293			
		H8	0,187	H18	0,375			
		H9	0,265	H19	0,246			
TOTAL	1,797	TOTAL	2,232	TOTAL	1,926			

BLOQUE 4	Hidrantes	Área [Ha]	BLOQUE 5	Hidrantes	Área [Ha]	BLOQUE 6	Hidrantes	Área [Ha]
	H20	0,267		H24	0,206		H34	0,395
H21	0,246	H25	0,268	H35	0,272			
H22	0,300	H26	0,384	H36	0,506			
H23	0,362	H27	0,285	H37	0,180			
H31	0,435	H28	0,268	H38	0,262			
H32	0,310	H29	0,361	H39	0,171			
H33	0,286	H30	0,518	H40	0,214			
TOTAL	2,207	TOTAL	2,290	TOTAL	2,001			

BLOQUE 7	Hidrantes	Área [Ha]	Área total de Riego, A_R =	
	H41	0,156	13,960 [Ha]	
H42	0,416	139603,4 [m ²]		
H43	0,199			
H44	0,103			
H45	0,264			
H46	0,368			
TOTAL	1,508			

Adicionalmente, se implementó una distribución multiflujo para optimizar el uso del agua, lo cual permitió sistematizar los turnos de riego. Cada turno de riego incluye la operación simultánea de 7 hidrantes, con la rotación de estos turnos realizada de manera diaria. La Tabla 4.13 presenta la distribución detallada de los turnos de riego organizados por días de la semana, lo que asegura una cobertura uniforme y eficiente en la aplicación del riego.

Tabla 4.13. Distribución de turnos de riego

TURNO – LUNES	Hid.	Acción	Caudal [L/s]	TURNO – MARTES	Hid.	Acción	Caudal [L/s]	TURNO – MIÉRCOLES	Hid.	Acción	Caudal [L/s]
	H1	1	2,55		H16	1	2,55		H10	1	2,55
H8	1	5,09	H2	1	5,09	H17	1	5,09			
H15	1	7,64	H23	1	7,64	H24	1	7,64			
H22	1	10,18	H30	1	10,18	H3	1	10,18			
H29	1	12,73	H37	1	12,73	H31	1	12,73			
H36	1	15,28	H44	1	15,28	H38	1	15,28			
H43	1	17,82	H9	1	17,82	H45	1	17,82			
TOTAL	7	17,82	TOTAL	7	17,82	TOTAL	7	17,82			

TURNO – JUEVES	Hid.	Acción	Caudal [L/s]	TURNO – VIERNES	Hid.	Acción	Caudal [L/s]	TURNO – SÁBADO	Hid.	Acción	Caudal [L/s]
	H11	1	2,55		H12	1	2,55		H13	1	2,55
H18	1	5,09	H19	1	5,09	H20	1	5,09			
H25	1	7,64	H26	1	7,64	H27	1	7,64			
H32	1	10,18	H33	1	10,18	H34	1	10,18			
H39	1	12,73	H40	1	12,73	H41	1	12,73			
H4	1	15,28	H5	1	15,28	H6	1	15,28			
H46	1	17,82	TOTAL	6	15,28	TOTAL	6	15,28			

TURNO – DOMINGO	Hid.	Acción	Caudal [L/s]
	H14	1	2,55
H21	1	5,09	
H28	1	7,64	
H35	1	10,18	
H42	1	12,73	
H7	1	15,28	
TOTAL	6	15,28	

4.10. PERIODO DE VIDA ÚTIL DEL DISEÑO

El periodo de diseño es un parámetro crucial en la planificación y construcción de estructuras civiles, ya que define el número de años durante los cuales una obra debe mantener su eficiencia operativa y funcionalidad. Para el presente proyecto, se ha optado por un periodo de diseño de **20 años de vida útil**, conforme a las recomendaciones establecidas en la Norma NB – 689, Diseño de Sistemas de Agua Potable Tabla 4.14. Este periodo asegura que las estructuras diseñadas en la zona de Sojsaña no solo cumplan con los requisitos actuales, sino que también mantengan su funcionalidad y eficiencia a lo largo del tiempo, garantizando así la sostenibilidad y durabilidad del sistema.

Tabla 4.14. Periodo de Diseño [Años]

COMPONENTE DEL SISTEMA	POBLACIÓN MENOR A 10000 [Hab.]
Obra de captación	10 – 20
Aducción	20
Pozos profundos	10
Estación de bombeo	20
Plantas de tratamiento	15 – 20
Tanques de almacenamiento	20
Redes de distribución	20
Equipamiento	
• Equipos electrónicos	5 – 10
• Equipos de combustión interna	5

Fuente: Norma NB – 689, Diseño de Sistemas de Agua Potable

La elección de un periodo de diseño de 20 años para el proyecto en la zona de Sojsaña está alineada con las normativas vigentes y permite una adecuada planificación y ejecución de las estructuras civiles, asegurando que cumplan con las expectativas de durabilidad y rendimiento a largo plazo.

CAPITULO V

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS

5.1. DEFINICIÓN

El presente proyecto abarca el diseño integral de un sistema de riego tecnificado adaptado a las condiciones específicas de la zona de Sojsaña. Este sistema incluye una obra de captación tipo ladera, un tanque de almacenamiento con capacidad de 260 [m³], tuberías de aducción, tuberías de conducción, una red de distribución destinada al riego y una serie de hidrantes detallado en el ANEXO 10. La integración de estos elementos en el diseño tiene como objetivo optimizar el manejo del agua y asegurar una distribución eficiente que satisfaga las necesidades de riego de manera efectiva Figura 5.3.

5.2. OBRA DE CAPTACIÓN TIPO LADERA

Dada la topografía particular de la zona de Sojsaña, donde se observa un afloramiento natural de aguas en las laderas de los cerros, se ha optado por implementar una obra de *captación tipo ladera* como se ilustra en la Figura 5.1 y Figura 5.2. Este tipo de captación es ideal para manejar el flujo de manantiales que emergen superficialmente debido a las condiciones del terreno. La elección de este diseño asegura un aprovechamiento eficiente del recurso hídrico, maximizando tanto su captación como su almacenamiento.

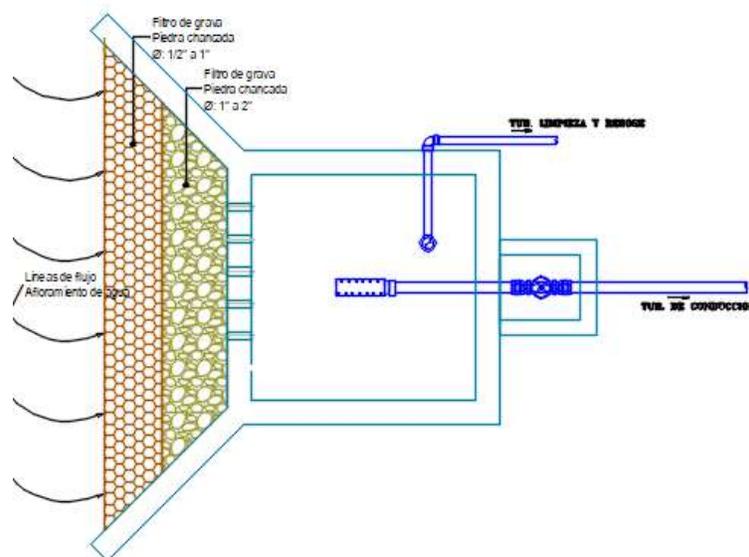


Figura 5.1. Diseño de una captación de manantial tipo ladera – vista en planta

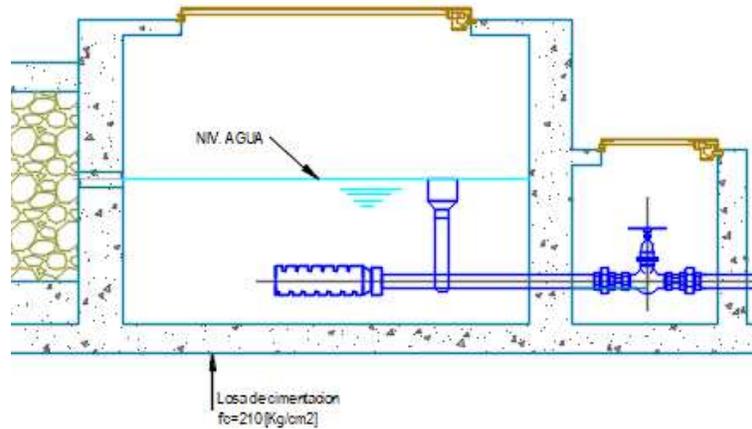


Figura 5.2. Diseño de una captación de manantial tipo ladera – vista lateral

Tabla 5.1. Planilla de Resultados del diseño de la Obra de Captación tipo ladera

Nº ORDEN	DIMENSIONES / CARACTERÍSTICAS DE LA CAPTACIÓN	CALCULADOS	ASUMIDOS	CRITERIO
1.	Distancia entre punto de afloramiento y cámara húmeda	$L = 1,27$ [m]	1,20 [m]	Redondeo al min. Inferior múltiplo de 10 [cm]
2.	Cálculos de la pantalla de captación			
2.1.	Diámetro de tubería de ingreso	$D_1 = 4$ [in]	4 [in]	Diámetro asumido
2.2.	Número de orificios	$NA = 5,00$	5,00	Redondeo al max. Superior
2.3.	Ancho de pantalla	$b = 1,45$ [m]	1,40 [m]	Criterio proyectista
.	Cálculos de la pantalla de captación			
		$Ht = 0,98$ [m]	1,00 [m]	Criterio constructivo
4.	Dimensionamiento de la canastilla			
4.1.	Diámetro de conducción	$Dc = 3$ [in]	3 [in]	Diámetro comercial
4.2.	Diámetro de canastilla	$Dg = 4$ [in]	4 [in]	Diámetro comercial
4.3.	Número de ranuras	$Nr = 115,819$	116	Redondeo al max. Superior
5.	Cálculo de Rebose y limpieza			
5.1.	Tubería de rebose	2 1/2 [in]	2 1/2 [in]	Diámetro comercial
5.2.	Tubería de limpieza	2 1/2 [in]	2 1/2 [in]	Diámetro comercial
6.	Altura de la cámara húmeda			
	Altura min, cimentación de la arena	$A = 10$ [cm]	10 [cm]	Criterio constructivo
	Tubería de conducción	$B = 2,0$ [in]	2 [in]	Criterio proyectista
	Altura de agua	$H = 30$ [cm]	30 [cm]	Criterio proyectista
	Desnivel mínimo ingreso - nivel agua	$D = 3$ [cm]	3 [cm]	Criterio proyectista
	Borde libre	$E = 50$ [cm]	50 [cm]	Criterio proyectista
	Altura de la cámara húmeda	$H_T = 0,98$ [cm]	1,00 [m]	Criterio proyectista

Para el diseño de esta obra de captación, se han seguido las directrices establecidas en la Norma Boliviana NB – 689, la cual proporciona las especificaciones técnicas para la construcción de obras de captación en sistemas de agua potable. Esta normativa garantiza que las características

mínimas de la obra cumplan con los estándares necesarios para una operación efectiva y duradera. La siguiente Tabla 5.1 detalla los resultados del diseño de la obra de captación tipo ladera.

Las dimensiones y el diseño de los planos de construcción de la obra de captación se calcularon teniendo en cuenta las características topográficas, geotécnicas y las recomendaciones de las normas pertinentes como se detalla en el ANEXO 10.

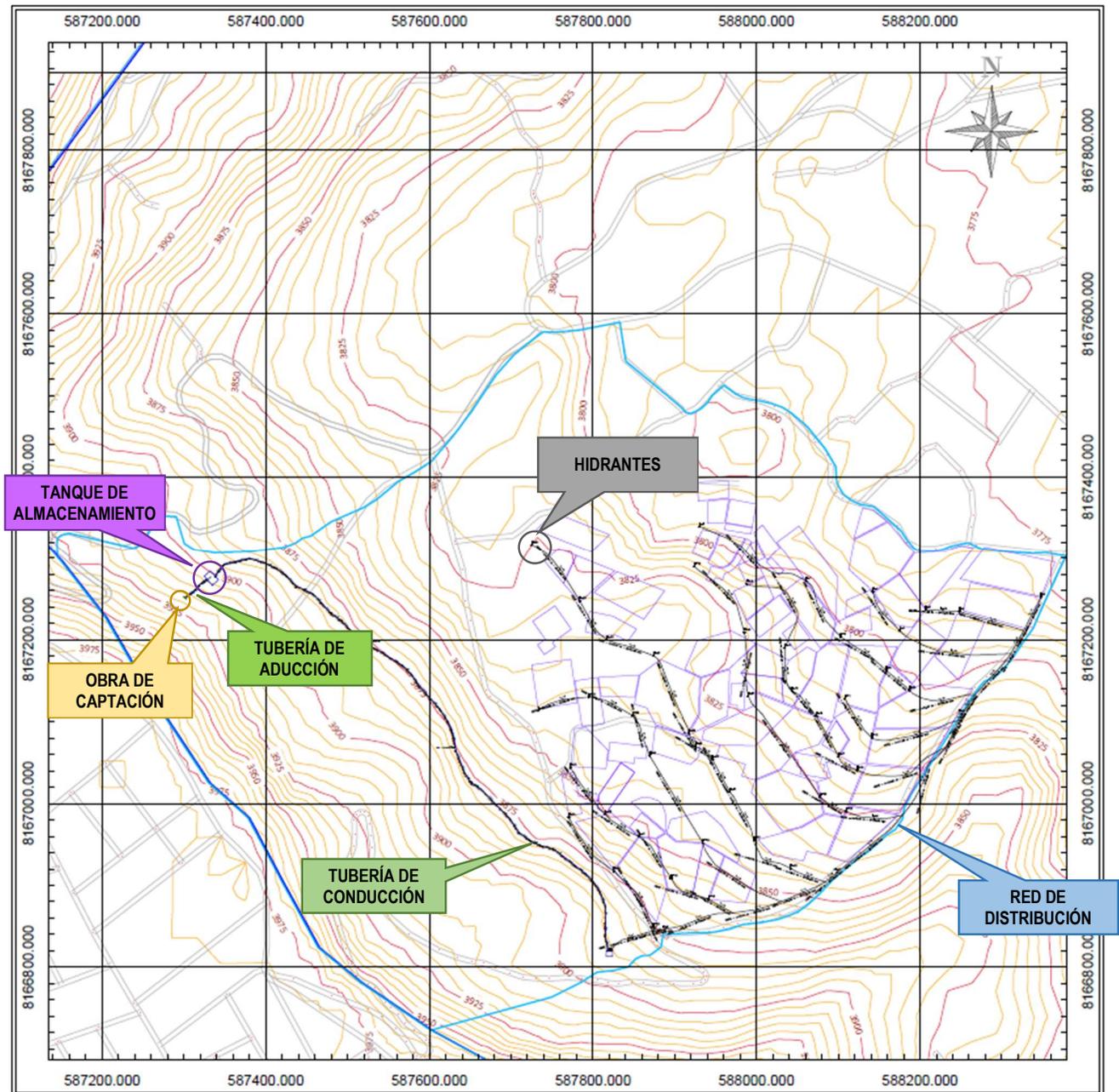


Figura 5.3. Mapa general

5.3. TUBERÍAS DE ADUCCIÓN Y/O CONDUCCIÓN A PRESIÓN

El diseño y dimensionamiento de las tuberías de aducción y conducción son componentes cruciales en el sistema de riego, ya que facilitan el transporte del agua desde la fuente hídrica hasta las áreas de cultivo. Para garantizar una distribución adecuada del agua y mantener presiones tolerables que aseguren un uso eficiente del recurso hídrico y un riego uniforme dentro del sistema presurizado por aspersión, se ha implementado el software WaterCAD en el presente proyecto.

WaterCAD es una herramienta avanzada que permite el modelado y análisis de redes hidráulicas con alta precisión. En el diseño de las tuberías para la zona de Sojsaña, este software ha sido utilizado para realizar los cálculos necesarios para el dimensionamiento óptimo de las tuberías de aducción y conducción. La aplicación de WaterCAD ha facilitado la simulación de diferentes escenarios operativos, la evaluación de la presión en puntos críticos y la verificación del cumplimiento de las normativas establecidas.

Se han adoptado las recomendaciones establecidas en la Norma Boliviana NB – 689 (Reglamento Técnico de Diseño de Aducciones para Sistemas de Agua Potable), que proporciona directrices detalladas para la ubicación de las obras de aducción, el trazado de las tuberías, la determinación de las cotas, el material de construcción, la velocidad de escurrimiento en tuberías a presión, así como las presiones máximas y mínimas y el diámetro mínimo de aducción. El uso de WaterCAD ha permitido ajustar el diseño a estas recomendaciones, asegurando que el sistema de riego funcione de manera eficiente y efectiva, como se ilustra en la Figura 5.4.

Las tuberías de aducción han sido dimensionadas considerando todos estos factores, lo que garantiza un transporte adecuado del agua y el mantenimiento de la presión necesaria para el funcionamiento óptimo del sistema de riego presurizado por aspersión.

5.3.1. *Diseño de las tuberías mediante WaterCad*

El diseño de las tuberías para el sistema de riego en la zona de Sojsaña se ha realizado utilizando el software WaterCAD V8i, que permite una modelación precisa y una optimización de los parámetros hidráulicos necesarios para garantizar la eficiencia del sistema. De acuerdo con las recomendaciones de la Norma Boliviana NB – 689, se han considerado los siguientes parámetros hidráulicos para el diseño de las tuberías de aducción Tabla 5.2:

Tabla 5.2. Parámetros hidráulicos máximos y mínimos en tuberías

Descripción	Vmax [m/s]	Vmin [m/s]	Pmax [mca]	Pmin [mca]	Vcritica [m/s]	Pcritica [mca]
Aducción	2,0	0,3	0,80 PN	2,00	2,50	< 2,00
Conducción	2,0	0,3	0,80 PN	2,00	2,50	< 2,00
Distribución	2,0	0,3	0,80 PN	2,00	2,50	-

Fuente: Guías para la Elaboración de Estudios de Diseño Técnico de Preinversión para Proyectos de Riego

P crítica < 2,00 [mca], excepto en los puntos cercanos de las tomas, donde comienza la aducción.

V crítica = 2,50 [m/s], se presenta en la aducción y distribución lo cual se admite este valor.

Para la introducción de estos parámetros en WaterCAD, se deben ingresar los siguientes datos clave en el software:

Velocidades y Presiones:

Establecer las velocidades máxima y mínima permitidas para las tuberías en las configuraciones del modelo.

Definir las presiones máximas y mínimas permitidas para asegurar que el diseño cumpla con los requisitos normativos.

Diámetros y Materiales:

Introducir los diámetros de las tuberías, que deben ser calculados para cumplir con los parámetros de velocidad y presión.

Seleccionar el material de las tuberías, considerando su resistencia y propiedades hidráulicas.

Configuraciones del Sistema:

Configurar las propiedades de los nodos y tuberías, como la rugosidad (usualmente definida mediante el coeficiente Hazen-Williams C), para modelar la pérdida de carga.

Establecer las cotas de entrada y salida para calcular las pérdidas de carga y las presiones en diferentes puntos del sistema.

Resultados y Optimización:

Ejecutar simulaciones para evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de flujo y presión.

Ajustar los diámetros y las configuraciones de las tuberías basándose en los resultados de las simulaciones para cumplir con los parámetros hidráulicos definidos.

Estos pasos aseguran que el diseño de las tuberías de aducción sea adecuado para el sistema de riego tecnificado, optimizando el flujo de agua y manteniendo las presiones dentro de los rangos recomendados. En la Figura 5.4 y Figura 5.5 se ilustra la modelación en el software de WaterCAD.

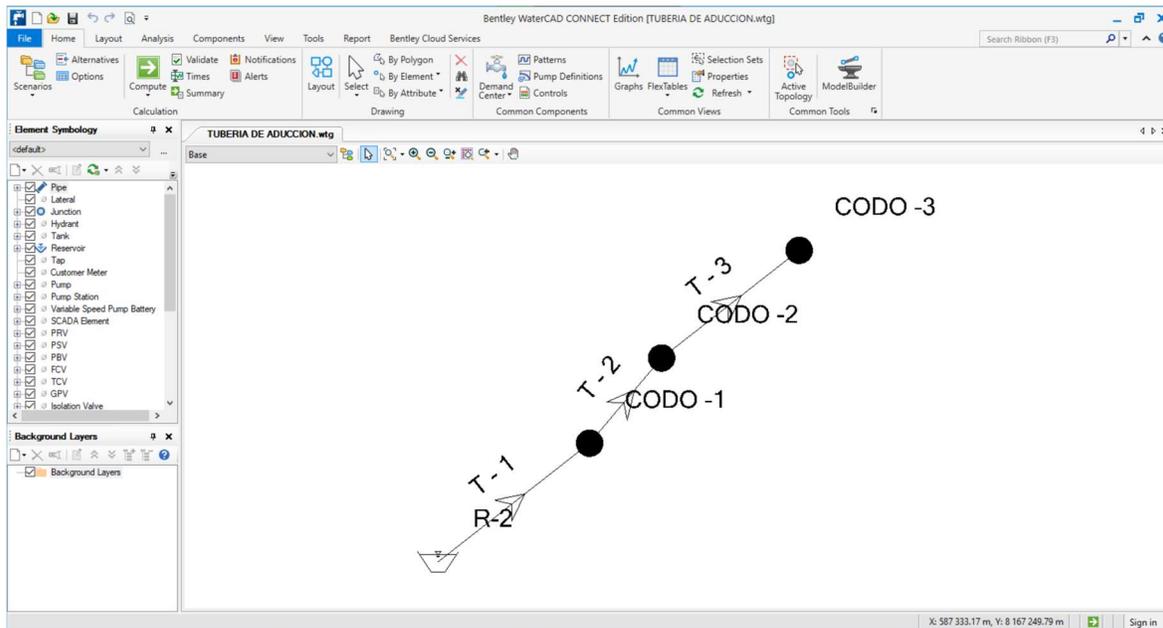


Figura 5.4. Modelación de la tubería de aducción en WaterCad.

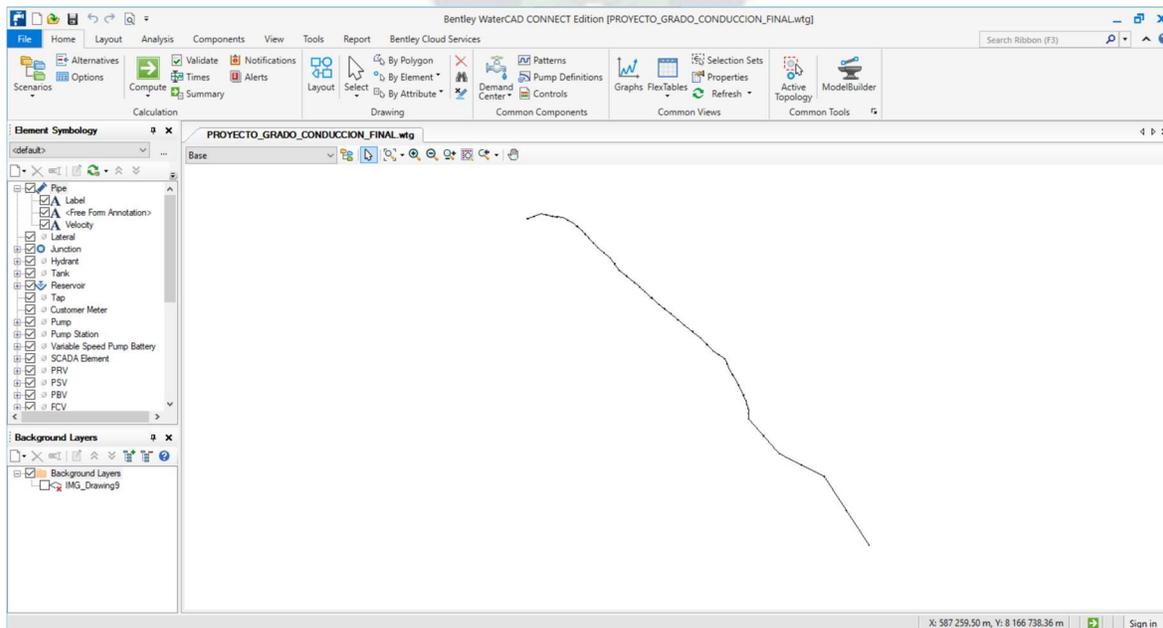


Figura 5.5. Modelación de la tubería de conducción en WaterCad

5.3.2. Presiones en los nodos de las tuberías mediante WaterCad

Durante la simulación con WaterCAD, se ha considerado el efecto de las presiones en los nodos para asegurar que no se presenten valores negativos y que las presiones no superen el 80% de la presión nominal del material utilizado Tabla 5.3. Esto es fundamental para la integridad del sistema y la eficiencia del riego.

Tabla 5.3. Presiones admisibles en los nodos

Descripción	Pmax [mca]	Pmin [mca]	Pcritica [mca]
Aducción	0,80 PN	2,00	< 2,00
Distribución	0,80 PN	2,00	-

Fuente: Guías para la Elaboración de Estudios de Diseño Técnico de Preinversión para Proyectos de Riego.

5.3.3. Modelación de las tuberías mediante WaterCad

5.3.3.1. Cálculo de diámetro de tuberías de aducción

Para el diseño de las tuberías de aducción en el proyecto para la zona de Sojsaña, se ha utilizado el software WaterCAD V8i para optimizar los diámetros de las tuberías, garantizando que se mantengan las condiciones adecuadas de circulación del flujo en términos de velocidad y presión. El análisis realizado permitió ajustar los diámetros mínimos de aducción, asegurando un rendimiento óptimo del sistema.

La simulación en WaterCAD V8i se centró en calcular los diámetros de las tuberías necesarios para mantener un flujo eficiente y minimizar las pérdidas de carga. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del cálculo hidráulico para las tuberías de aducción Tabla 5.4:

Tabla 5.4. Reporte cálculo Hidráulico en la Tubería de Aducción

Label	Material	Length [m]	Diameter interno [mm]	Hazen-Williams C	Flow (Absolute) [L/s]	Velocity [m/s]	Headloss [m]
T - 1	PVC	13,33	73,3	140	4,75	1,13	0,25
T - 2	PVC	7,72	73,3	140	4,75	1,13	0,15
T - 3	PVC	12,1	73,3	140	4,75	1,13	0,23

Fuente: WaterCad V8i.

Los parámetros utilizados para la simulación en WaterCAD incluyeron:

- **Material de las tuberías:** PVC, conforme a la Norma Boliviana NB – 213, que especifica una Presión Nominal de 60 [m.c.a.]

- **Diámetro Nominal:** 76,2 [mm] (3 pulgadas), seleccionado para garantizar una adecuada capacidad de flujo y minimizar pérdidas.
- **Hazen-Williams C:** 140, utilizado para calcular la rugosidad de las tuberías y ajustar las pérdidas por fricción.
- **Flujo (Absolute):** 4,75 [L/s], definido para cumplir con los requerimientos de riego.
- **Velocidad del flujo máxima:** 2,00 [m/s], para asegurar una velocidad de flujo adecuada y evitar problemas de erosión o acumulación de sedimentos.
- **Pérdida de carga (Headloss):** Calculada para cada tramo de tubería para asegurar que el sistema opere dentro de los límites permisibles de presión.

De acuerdo al diseño planteado para las parcelas de riego en la zona de Sojsaña, se ha adoptado un sistema de aducción mediante conductos cerrados, con las siguientes especificaciones técnicas:

- **Material:** PVC – Clase 6, conforme a la Norma Boliviana NB – 213.
- **Presión Nominal (PN):** 60 [m.c.a.]
- **Diámetro Nominal:** 76,2 [mm] (3 plg), seleccionado para garantizar un rendimiento adecuado del sistema de aducción.

El uso de WaterCAD V8i ha permitido una optimización precisa del diseño de las tuberías de aducción, asegurando que el sistema de riego funcione de manera eficiente y cumpla con los estándares técnicos necesarios para la zona de Sojsaña.

5.3.3.2. Cálculo de presiones de tuberías de aducción

De acuerdo con los resultados obtenidos, los valores de presión del sistema no superan el 80% de la Presión Nominal (PN) del material utilizado. En este caso, la Presión Nominal de las tuberías es de 60 [m.c.a.], por lo que se aceptó un valor de 4,74 [m.c.a.] en el punto más próximo de la obra de captación. Los datos específicos sobre las presiones en los codos de la tubería de aducción se detallan a continuación en la Tabla 5.5:

Tabla 5.5. Reporte de presiones en los codos de la tubería de aducción

Label	Elevation [m]	Hydraulic Grade [m]	Pressure [m H ₂ O]
CODO 1	3 911,65	3 916,40	4,74
CODO 2	3 908,51	3 916,25	7,73

Fuente: WaterCad V8i.

5.3.3.3. Cálculo del diámetro de tuberías de conducción

El diseño de las tuberías de conducción para el proyecto en la zona de Sojsaña ha sido optimizado utilizando el software WaterCAD V8i. Esta herramienta facilita la simulación y ajuste de los diámetros mínimos requeridos para garantizar una circulación eficiente del flujo, manteniendo tanto la velocidad como la presión dentro de los parámetros establecidos. Los resultados de la simulación se detallan en la Tabla 5.6, donde se muestran los diámetros internos, el flujo absoluto, la velocidad y la pérdida de carga para cada segmento de tubería.

Tabla 5.6. Reporte hidráulico de la tubería de conducción

Label	Material	Length [m]	Diameter interno [mm]	Hazen-Williams C	Flow (Absolute) [L/s]	Velocity [m/s]	Headloss [m]
T - 4	PVC	15,68	98,20	140	4,76	0,63	0,07
T - 5	PVC	5,44	98,20	140	4,76	0,63	0,03
T - 6	PVC	10,76	98,20	140	4,76	0,63	0,05
T - 7	PVC	18,14	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 8	PVC	17,81	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 9	PVC	17,30	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 10	PVC	14,59	98,20	140	4,76	0,63	0,07
T - 11	PVC	17,97	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 12	PVC	23,13	98,20	140	4,76	0,63	0,11
T - 13	PVC	19,83	98,20	140	4,76	0,63	0,09
T - 14	PVC	12,25	98,20	140	4,76	0,63	0,06
T - 15	PVC	16,29	98,20	140	4,76	0,63	0,07
T - 16	PVC	14,22	98,20	140	4,76	0,63	0,07
T - 17	PVC	16,23	98,20	140	4,76	0,63	0,07
T - 18	PVC	7,91	98,20	140	4,76	0,63	0,04
T - 19	PVC	17,07	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 20	PVC	19,37	98,20	140	4,76	0,63	0,09
T - 21	PVC	18,35	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 22	PVC	15,22	98,20	140	4,76	0,63	0,07
T - 23	PVC	17,65	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 24	PVC	20,01	98,20	140	4,76	0,63	0,09
T - 25	PVC	17,48	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 26	PVC	20,00	98,20	140	4,76	0,63	0,09
T - 27	PVC	14,00	98,20	140	4,76	0,63	0,06
T - 28	PVC	11,47	98,20	140	4,76	0,63	0,05
T - 29	PVC	11,46	98,20	140	4,76	0,63	0,05
T - 30	PVC	11,64	98,20	140	4,76	0,63	0,05
T - 31	PVC	17,17	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 32	PVC	13,10	98,20	140	4,76	0,63	0,06
T - 33	PVC	14,20	98,20	140	4,76	0,63	0,07
T - 34	PVC	33,28	98,20	140	4,76	0,63	0,15
T - 35	PVC	17,12	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 36	PVC	20,65	98,20	140	4,76	0,63	0,09
T - 37	PVC	17,02	98,20	140	4,76	0,63	0,08

T - 38	PVC	13,19	98,20	140	4,76	0,63	0,06
T - 39	PVC	17,39	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 40	PVC	16,12	98,20	140	4,76	0,63	0,07
T - 41	PVC	18,21	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 42	PVC	14,42	98,20	140	4,76	0,63	0,07
T - 43	PVC	16,84	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 44	PVC	11,38	98,20	140	4,76	0,63	0,05
T - 45	PVC	19,70	98,20	140	4,76	0,63	0,09
T - 46	PVC	18,08	98,20	140	4,76	0,63	0,08
T - 47	PVC	18,93	98,20	140	4,76	0,63	0,09
T - 48	PVC	17,01	98,20	140	4,76	0,63	0,08

Fuente: *WaterCad V8i*.

Para satisfacer las necesidades de riego en las parcelas de la zona de Sojsaña, se ha optado por un sistema de conducción con tuberías de **PVC – Clase 6**, de acuerdo con la Norma Boliviana NB – 213. Las tuberías tienen una Presión Nominal de 60 [m.c.a] y un Diámetro Nominal de **101,6 [mm] (4 [plg])**.

5.3.3.4. Cálculo de presiones en tuberías de conducción

Para garantizar el cumplimiento de las condiciones mínimas de presión en las tuberías de conducción del sistema de riego tecnificado para la zona de Sojsaña, se ha empleado la simulación y modelado en el software WaterCAD V8i. El diseño se ha enfocado en mantener las presiones dentro de los límites óptimos, asegurando que no superen el 80% de la Presión Nominal (PN), definida en este caso como 60 [m.c.a].

El análisis de presiones se centró en obtener valores que maximicen la eficiencia y seguridad del sistema, resultando en una recomendación de un valor máximo de 6,35 [m.c.a] en el punto más próximo al tanque de almacenamiento A1. Este valor se considera adecuado para mantener una operación segura y eficiente del sistema de aducción, evitando excesos de presión que puedan comprometer la integridad de las tuberías.

Los resultados detallados de las presiones en los codos de las tuberías de conducción se presentan en la Tabla 5.7, la cual resume los puntos críticos y sus respectivas lecturas de presión, contribuyendo a la validación del diseño hidráulico planteado.

Tabla 5.7. Reporte de presiones en las tuberías de conducción

Label	Elevation (m)	Hydraulic Grade (m)	Pressure [m H2O]	Label	Elevation (m)	Hydraulic Grade (m)	Pressure [m H2O]
CODO 1	3.894,28	3.900,64	6,35	CODO 24	3.874,48	3.898,93	24,41
CODO 2	3.892,72	3.900,61	7,88	CODO 25	3.875,06	3.898,88	23,77
CODO 3	3.890,32	3.900,56	10,23	CODO 26	3.876,67	3.898,83	22,11
CODO 4	3.886,93	3.900,48	13,52	CODO 27	3.877,70	3.898,78	21,04
CODO 5	3.886,60	3.900,40	13,77	CODO 28	3.877,94	3.898,70	20,71
CODO 6	3.885,80	3.900,32	14,49	CODO 29	3.877,76	3.898,64	20,84
CODO 7	3.884,94	3.900,25	15,29	CODO 30	3.877,18	3.898,57	21,35
CODO 8	3.884,59	3.900,17	15,55	CODO 31	3.877,16	3.898,42	21,22
CODO 9	3.883,10	3.900,06	16,92	CODO 32	3.877,78	3.898,34	20,52
CODO 10	3.882,17	3.899,97	17,77	CODO 33	3.877,82	3.898,25	20,38
CODO 11	3.882,41	3.899,92	17,47	CODO 34	3.877,47	3.898,17	20,65
CODO 12	3.880,93	3.899,84	18,87	CODO 35	3.879,02	3.898,11	19,05
CODO 13	3.878,98	3.899,78	20,76	CODO 36	3.880,84	3.898,03	17,15
CODO 14	3.878,43	3.899,70	21,23	CODO 37	3.882,05	3.897,95	15,87
CODO 15	3.877,73	3.899,67	21,89	CODO 38	3.881,94	3.897,87	15,9
CODO 16	3.875,99	3.899,59	23,55	CODO 39	3.882,36	3.897,80	15,42
CODO 17	3.874,87	3.899,50	24,58	CODO 40	3.884,53	3.897,73	13,17
CODO 18	3.874,03	3.899,41	25,33	CODO 41	3.885,68	3.897,67	11,97
CODO 19	3.873,90	3.899,34	25,4	CODO 42	3.887,34	3.897,58	10,23
CODO 20	3.874,30	3.899,26	24,92	CODO 43	3.889,12	3.897,50	8,36
CODO 21	3.874,10	3.899,17	25,02	CODO 44	3.890,38	3.897,41	7,02
CODO 22	3.872,97	3.899,09	26,07	CODO 45	3.891,03	3.897,34	6,29
CODO 23	3.873,98	3.899,00	24,97				

Fuente: WaterCad V8i.

Este análisis confirma que las tuberías de conducción diseñadas para la zona de Sojsaña cumplen con las especificaciones de presión necesarias para el correcto funcionamiento del sistema de riego tecnificado en la zona de Sojsaña.

5.4. TANQUE DE ALMACENAMIENTO

5.4.1. Parámetros de cálculos estructurales

Para el diseño del tanque de almacenamiento en la zona de Sojsaña, se utilizó el software SAP2000 v22.02, que facilita el análisis y diseño estructural de manera precisa y eficiente, tanto para estructuras complejas como convencionales. El uso de SAP2000 v22.02 permitió modelar el tanque apoyado con una capacidad de 260 [m³], asegurando que se cumplan las condiciones mínimas de diseño y las recomendaciones establecidas por las normas NB 12250001 y la Asociación del Cemento Portland (PCA), específicamente en su publicación “Rectangular Concrete Tanks”.

El tanque de almacenamiento está estratégicamente ubicado en una elevación superior a las áreas de riego, lo que facilita un flujo por gravedad hacia las parcelas, optimizando la distribución del recurso hídrico en el sistema de riego tecnificado diseñado para la zona de Sojsaña. Esta ubicación no solo asegura una entrega eficiente del agua, sino que también minimiza la necesidad de bombeo adicional, reduciendo costos operativos y mejorando la sostenibilidad del sistema. Los detalles completos del diseño estructural y la ubicación del tanque se encuentran en los planos adjuntos en el ANEXO 10.

5.4.2. Análisis de la capacidad portante del tanque apoyado

En el diseño, se consideraron factores críticos como las condiciones topográficas, la disponibilidad de agua, las características del suelo y la ubicación óptima del tanque para garantizar un suministro constante de agua, especialmente durante períodos de estiaje. Se realizó un análisis estático lineal del tanque, evaluando tanto el empuje del agua como la presión del suelo sobre las paredes, lo cual se presenta en la Figura 5.6 y Figura 5.7 respectivamente, con la finalidad de validar la estabilidad y seguridad estructural del tanque.

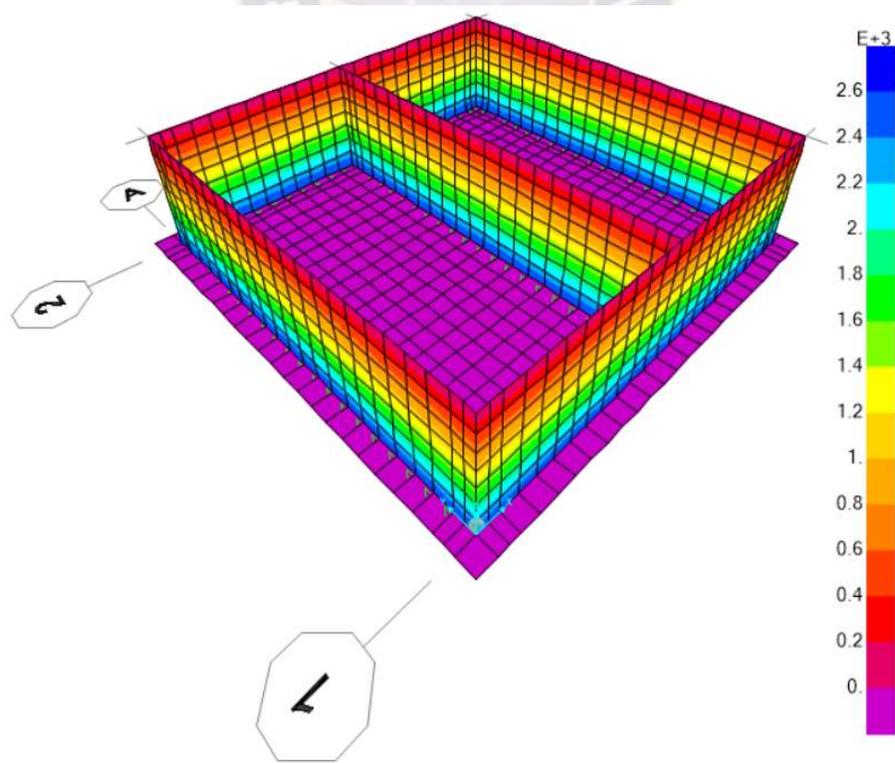


Figura 5.6. Empuje de la Presión del Agua en las paredes del muro

Fuente: SAP 2000 v22.02

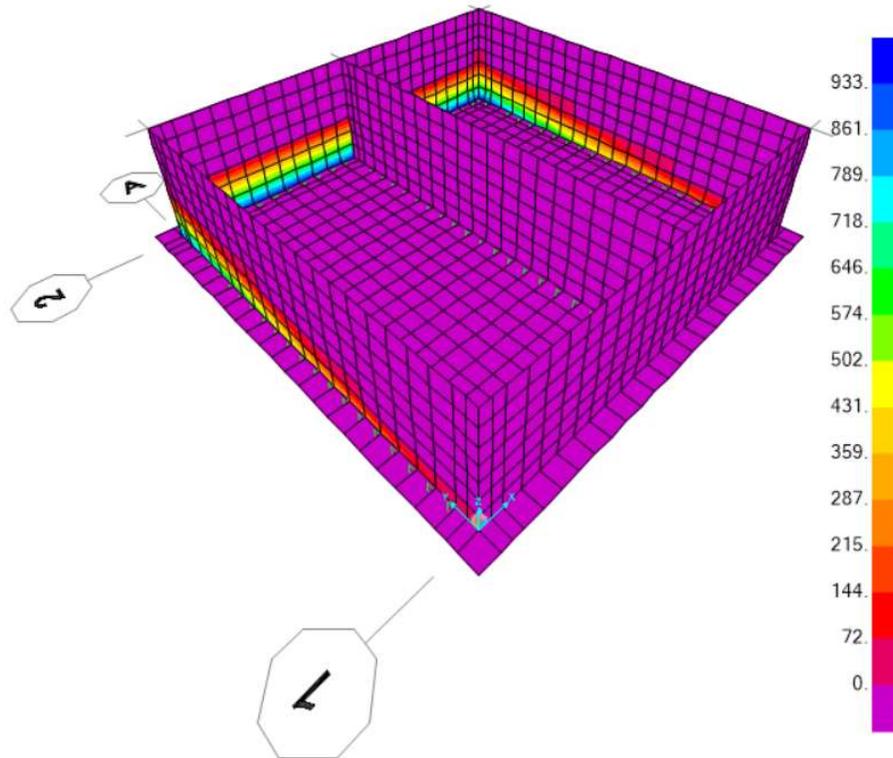


Figura 5.7. Empuje de la Presión del suelo en las paredes del muro

Fuente: SAP 2000 v22.02

Adicionalmente, se llevó a cabo un ensayo in situ aplicando el método de la barra dinámica de California para determinar la capacidad portante del suelo en la ubicación proyectada, estableciendo una capacidad portante admisible de 1,53 [Kg/cm²]. El tanque, construido en Hormigón Armado (H^oA^o), cuenta con un revestimiento de mortero en las superficies verticales de los muros y la losa de fondo, proporcionando un acabado óptimo que incrementa el aislamiento, previene la abrasión y minimiza las pérdidas de agua a lo largo de su vida útil.

5.5. REDES DE DISTRIBUCIÓN

5.5.1. Diseño de las redes de distribución

El diseño de las redes de distribución en sistemas de riego consiste en la planificación de un conjunto de tuberías, válvulas y componentes que transportan el agua desde la fuente de suministro (tanque de almacenamiento) hasta las áreas de irrigación (hidrantes). Para este proyecto, se ha considerado una red abierta o ramificada, con distribución por gravedad, y el caudal de circulación se determina según la cantidad de agua requerida para cada hidrante.

El diseño hidráulico de las redes de distribución se realizó utilizando el software WaterCAD V8i, así como se ilustra en la Figura 5.8. Este programa permitió la modelación y simulación de la red de tuberías, asegurando que las condiciones de diseño cumplan con los requisitos mínimos establecidos por la Norma Boliviana NB-689 (Redes de Distribución para Sistemas de Agua Potable). Los criterios de diseño considerados incluyeron la determinación de diámetros mínimos, el control de velocidades y presiones dentro del sistema, y la optimización de la red para garantizar un funcionamiento eficiente.

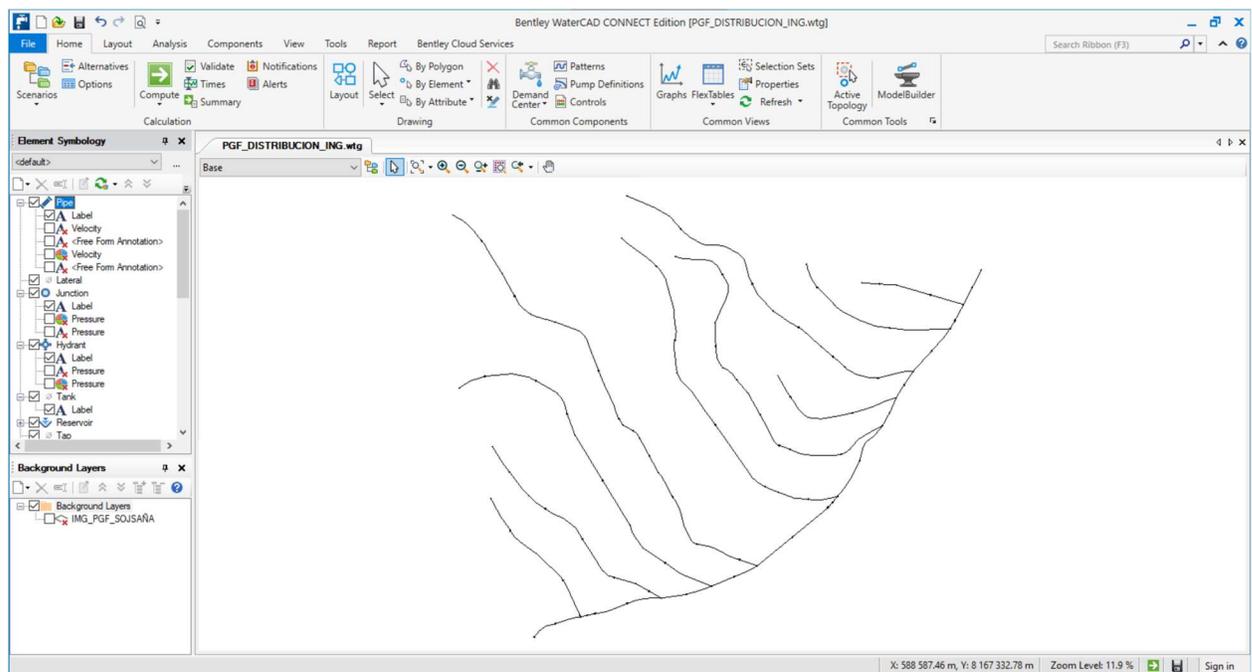


Figura 5.8. Modelación de las redes de distribución en WaterCad

5.5.2. Diseño hidráulico de las tuberías de la red de distribución

El software WaterCAD V8i fue empleado para realizar el diseño hidráulico de las tuberías, cumpliendo con las condiciones mínimas de velocidad y presión según lo recomendado por las normas aplicables. Los parámetros de diseño incluyen un rango de velocidades operativas entre 0,5 [m/s] y 2,0 [m/s], permitiendo un máximo de 2,5 [m/s] en situaciones excepcionales, como se detalla en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. Parámetros para el diseño de las tuberías de Distribución

Descripción	Vmax [m/s]	Vmin [m/s]	Pmax [mca]	Pmin [mca]	Vcritica [m/s]
Distribución	2,0	0,5	0,80 PN	2,00	2,50

Fuente: Guías para la Elaboración de Estudios de Diseño Técnico de Preinversión para Proyectos de Riego.

5.5.3. Cálculo de diámetros de tuberías de distribución

Los diámetros de las tuberías fueron optimizados mediante simulaciones en WaterCAD V8i, con el objetivo de satisfacer las condiciones hidráulicas requeridas por el sistema. Las simulaciones consideraron diversos escenarios para asegurar que los diámetros seleccionados mantengan las velocidades y presiones dentro de los límites establecidos, como se observa en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9. Reporte Hidráulico de la Red de Distribución

Label	Material	Length [m]	Diameter Interno [mm]	Hazen-Williams C	Flow (Absolute) [L/s]	Velocity [m/s]	Headloss [m]
T - 1	HDPE	61,15	110,20	140	17,86	1,87	1,85
T - 2	HDPE	11,88	110,20	140	17,85	1,87	0,36
T - 3	HDPE	86,30	110,20	140	17,85	1,87	2,61
T - 4	HDPE	60,94	110,20	140	15,30	1,60	1,39
T - 5	HDPE	59,05	110,20	140	12,75	1,34	0,96
T - 6	HDPE	18,69	110,20	140	10,20	1,07	0,20
T - 7	HDPE	106,47	110,20	140	10,20	1,07	1,14
T - 8	HDPE	100,48	96,80	140	7,65	1,04	1,19
T - 9	HDPE	37,15	79,20	140	5,10	1,04	0,55
T - 10	HDPE	7,48	79,20	140	5,10	1,04	0,11
T - 11	HDPE	28,76	79,20	140	5,10	1,04	0,43
T - 12	HDPE	66,87	79,20	140	2,55	0,52	0,28
T - 13	HDPE	32,51	79,20	140	2,55	0,52	0,13
T - 14	HDPE	45,79	79,20	140	2,55	0,52	0,19
T - 15	HDPE	41,25	66,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 16	HDPE	82,09	66,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 17	HDPE	59,28	44,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 18	HDPE	142,88	44,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 19	HDPE	151,03	66,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 20	HDPE	82,17	66,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 21	HDPE	69,85	66,00	140	2,55	0,75	0,70
T - 22	HDPE	36,83	66,00	140	2,55	0,75	0,37
T - 23	HDPE	84,61	66,00	140	2,55	0,75	0,85
T - 24	HDPE	58,18	66,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 25	HDPE	111,23	66,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 26	HDPE	125,41	66,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 27	HDPE	54,68	66,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 28	HDPE	43,36	66,00	140	2,55	0,75	0,43
T - 29	HDPE	56,30	66,00	140	2,55	0,75	0,56
T - 30	HDPE	29,95	66,00	140	2,55	0,75	0,30
T - 31	HDPE	120,61	66,00	140	2,55	0,75	1,21
T - 32	HDPE	105,51	66,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 33	HDPE	78,56	66,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 34	HDPE	151,65	66,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 35	HDPE	36,50	66,00	140	2,55	0,75	0,37

T - 36	HDPE	70,81	66,00	140	2,55	0,75	0,71
T - 37	HDPE	92,14	44,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 38	HDPE	59,10	44,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 39	HDPE	60,24	44,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 40	HDPE	105,07	44,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 41	HDPE	17,96	44,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 42	HDPE	26,28	44,00	140	2,55	1,68	1,90
T - 43	HDPE	45,36	55,00	140	2,55	1,07	1,10
T - 44	HDPE	66,34	66,00	140	2,55	0,75	0,66
T - 45	HDPE	62,18	66,00	140	2,55	0,75	0,62
T - 46	HDPE	45,51	66,00	140	2,55	0,75	0,46
T - 47	HDPE	65,50	55,40	140	0,00	0,00	0,00
T - 48	HDPE	58,41	44,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 49	HDPE	54,18	44,00	140	2,55	1,68	3,91
T - 50	HDPE	124,68	44,00	140	2,55	1,68	8,99
T - 51	HDPE	123,72	44,00	140	2,55	1,68	8,92
T - 52	HDPE	71,48	44,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 53	HDPE	50,03	44,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 54	HDPE	65,17	44,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 55	HDPE	54,87	44,00	140	0,00	0,00	0,00
T - 56	HDPE	34,25	44,00	140	2,55	1,68	2,47
T - 57	HDPE	87,20	44,00	140	0,00	0,00	0,00

Fuente: WaterCad V8i.

En la tabla de reporte se refleja tuberías de Polietileno (HDPE) con una Presión Nominal (PN = 10 [Bar]), Diámetro Comercial de las tuberías de Distribución son: 50 [mm] (2”), 63 [mm] (2 ½”), 75 [mm] (3”), 90 [mm] (3 ½”), 110 [mm] (4”) y 125 [mm] (5”) respectivamente.

5.5.4. Cálculo de Presión en Cámaras Hidrantes

Para las cámaras de los hidrantes, el cálculo de presión se basó en las condiciones de operación y la selección adecuada de emisores según el diseño agronómico. Se consideraron aspersores de mediana presión, cuyos valores se muestran en el Cuadro 5.1. La simulación en WaterCAD V8i permitió verificar que las presiones en las cámaras de los hidrantes se mantuvieran dentro de los límites aceptables, satisfaciendo así las necesidades del sistema de riego tecnificado en la zona de Sojsaña, tal como se indica en la Tabla 5.10.

Cuadro 5.1. Presión de trabajo en Aspersores

Descripción	Presión [mca]
Baja Presión	Menor a 15
Mediana Presión	15 - 35
Alta Presión	Mayor a 35

Fuente: Elaboración Propia.

5.5.5. Cálculo de caudal en la Cámara Hidrante

El caudal requerido en los hidrantes es de 2,55 [L/s], valor que proviene del diseño agronómico realizado previamente. Este caudal se utilizó como dato de entrada para la simulación en el software WaterCAD V8i, con el fin de evaluar y optimizar las condiciones de funcionamiento de la red de distribución, cumpliendo con las especificaciones de velocidad y presión requeridas por el sistema.

El diseño de las redes de distribución se llevó a cabo mediante WaterCAD V8i, asegurando que la configuración propuesta cumpla con las condiciones mínimas de diseño y las recomendaciones establecidas en la Norma Boliviana NB-689 (Redes de Distribución para Sistemas de Agua Potable). Se consideraron criterios técnicos tales como la velocidad crítica, las pérdidas de carga, y los diámetros de las tuberías, para asegurar que los parámetros de diseño se mantengan dentro de los rangos aceptables especificados por las normativas vigentes.

En la Tabla 5.10 se presentan los resultados del reporte hidráulico de los hidrantes, los cuales muestran que las presiones obtenidas se encuentran dentro de los valores aceptables, satisfaciendo las necesidades de presión en cada hidrante, y garantizando un funcionamiento eficiente del sistema de riego tecnificado.

Tabla 5.10. Reporte Hidráulico para Hidrantes

Label	Elevation [m]	Demand [L/s]	Hydraulic Grade [m]	Pressure [m H2O]	Label	Elevation [m]	Demand [L/s]	Hydraulic Grade [m]	Pressure [m H2O]
H-1	3.778,69	2,55	3.811,29	32,54	H-24	3.824,94	0,00	3.864,38	39,36
H-2	3.786,18	0,00	3.811,48	25,25	H-25	3.830,43	0,00	3.864,38	33,88
H-3	3.788,62	0,00	3.811,48	22,81	H-26	3.834,76	0,00	3.864,38	29,56
H-4	3.787,38	0,00	3.811,61	24,19	H-27	3.835,55	0,00	3.864,38	28,77
H-5	3.794,56	0,00	3.811,61	17,02	H-28	3.836,02	0,00	3.864,38	28,30
H-6	3.795,38	0,00	3.809,97	14,57	H-29	3.836,75	2,55	3.864,38	27,57
H-7	3.802,52	0,00	3.809,97	7,44	H-30	3.838,54	0,00	3.866,27	27,68
H-8	3.802,80	2,55	3.809,97	7,16	H-31	3.838,30	0,00	3.867,38	29,02
H-9	3.802,07	0,00	3.810,67	8,59	H-32	3.840,16	0,00	3.868,04	27,83
H-10	3.802,00	0,00	3.811,04	9,02	H-33	3.842,00	0,00	3.868,66	26,61
H-11	3.810,00	0,00	3.837,83	27,77	H-34	3.840,82	0,00	3.848,25	7,42
H-12	3.808,46	0,00	3.837,83	29,31	H-35	3.841,53	0,00	3.848,25	6,71
H-13	3.810,98	0,00	3.835,88	24,85	H-36	3.840,20	2,55	3.848,25	8,04
H-14	3.812,26	0,00	3.835,88	23,57	H-37	3.843,07	0,00	3.852,16	9,07
H-15	3.813,06	2,55	3.835,88	22,77	H-38	3.846,00	0,00	3.861,15	15,12
H-16	3.813,72	0,00	3.836,31	22,55	H-39	3.847,43	0,00	3.868,99	21,52
H-17	3.815,24	0,00	3.836,87	21,59	H-40	3.850,43	0,00	3.868,99	18,52
H-18	3.814,53	0,00	3.837,17	22,59	H-41	3.852,48	0,00	3.868,99	16,48
H-19	3.817,07	0,00	3.838,50	21,38	H-42	3.860,00	0,00	3.868,99	8,97



H-20	3.821,00	0,00	3.838,50	17,47	H-43	3.859,84	2,55	3.868,99	9,14
H-21	3.822,44	0,00	3.838,50	16,02	H-44	3.862,89	0,00	3.888,66	25,72
H-22	3.824,96	2,55	3.838,50	13,51	H-45	3.872,94	0,00	3.888,66	15,68
H-23	3.824,53	0,00	3.838,86	14,30	H-46	3.875,21	0,00	3.888,66	13,42

Fuente: WaterCad V8i.

5.6. OBRAS COMPLEMENTARIAS

5.6.1. Cámara Rompe Presión para redes de distribución

Las cámaras rompepresión, también conocidas como cámaras de ruptura de presión, son componentes hidráulicos esenciales en los sistemas de riego y conducción de agua. Su función principal es reducir la presión en el sistema, lo cual protege las tuberías y otros componentes de posibles daños causados por presiones excesivas. Estos dispositivos son particularmente necesarios en tramos del sistema donde existen grandes diferencias de altura que generan presiones superiores a las soportadas por las tuberías instaladas.

En el sistema de riego tecnificado de la zona de Sojsaña, se identificó un fuerte desnivel entre el reservorio A1 y varios puntos de la red de distribución principal, lo que resultó en presiones superiores a la máxima tolerable por la tubería. Para mitigar este problema, se diseñaron dos cámaras rompepresión, denominadas CRP 1, CRP 2 y CRP3. La implementación de estas cámaras permite reducir las presiones a niveles seguros, garantizando así la integridad del sistema y el funcionamiento adecuado de todos los componentes hidráulicos.

El diseño detallado de las cámaras rompepresión, así como los planos correspondientes, se encuentran en el ANEXO 10. Estos incluyen especificaciones técnicas, dimensiones, y materiales de construcción, asegurando que cumplen con las normativas y los estándares de calidad requeridos para un funcionamiento óptimo y seguro.



CAPITULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA

6.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DE LOS PROYECTOS DE RIEGO

La evaluación económica y financiera de los proyectos de riego, incluyendo aquellos orientados al diseño técnico de preinversión, se rige por la Resolución Bi-Ministerial N° 095 del 13 de septiembre de 2000, que establece las "Metodologías de Preparación y Evaluación de Proyectos Agropecuarios". Este marco normativo proporciona directrices claras para la evaluación de la viabilidad integral de proyectos de riego, abarcando tanto los aspectos económicos como financieros.

En el caso del proyecto de grado titulado "Diseño hidráulico del sistema de riego tecnificado por aspersión para la zona de Sojsaña", se ha aplicado esta metodología para identificar, cuantificar y valorar los costos y beneficios asociados con la implementación del sistema de riego. La evaluación considera la vida útil del proyecto y su impacto económico en la zona, con el objetivo de demostrar la conveniencia de la inversión desde una perspectiva financiera y económica. Esta evaluación es fundamental para justificar la asignación de recursos y garantizar que el proyecto aporte de manera significativa al desarrollo agrícola y a la optimización del uso del agua en la región.

6.2. EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera de los estudios de diseño técnico de preinversión para proyectos de riego, como el "Diseño hidráulico del sistema de riego tecnificado por aspersión para la zona de Sojsaña", se centra en la comparación de los beneficios y costos desde una perspectiva financiera. El objetivo es emitir un juicio sobre la conveniencia de que un inversionista privado o público asigne recursos financieros al proyecto, asegurando su sostenibilidad económica y operativa. Para este análisis, es fundamental determinar el flujo financiero de ingresos y gastos que generará el proyecto, valorados con base en los precios del mercado vigente.

En este contexto, uno de los puntos de mayor relevancia es el cálculo del Valor Actual Neto Financiero (VANF), el cual sirve como un indicador clave para la toma de decisiones. Este criterio se convierte en una señal determinante para evaluar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto, permitiendo a los tomadores de decisiones identificar si los beneficios financieros superan los

costos, asegurando así la operatividad a largo plazo del sistema de riego tecnificado. Esta metodología no solo garantiza la eficiencia en la asignación de recursos, sino que también facilita la optimización del uso del agua y la maximización de los beneficios económicos para la zona de Sojsaña.

6.2.1. Presupuesto general del proyecto

El presupuesto general del proyecto de diseño hidráulico del sistema de riego tecnificado por aspersión para la zona de Sojsaña se ha elaborado considerando las variaciones en los precios unitarios de los distintos ítems involucrados. Para esta tarea, se han utilizado los cómputos métricos detallados en el ANEXO 11 y las incidencias correspondientes en los precios unitarios, documentadas en el ANEXO 12.

Este presupuesto se fundamenta en las tarifas referenciales obtenidas de publicaciones especializadas y fuentes actualizadas, tales como "Revista P & C - Presupuestos y Construcción 2022", "Precios Unitarios CADECO 2022", "APU G.A.M.L.P. 2022", así como en las cotizaciones proporcionadas por diversas empresas especializadas en áreas relevantes para el proyecto. El presupuesto general consolidado se presenta en el ANEXO 13.

En la Tabla 6.1 se detalla la cantidad y el precio unitario de cada ítem incluido en el proyecto, resultando en un presupuesto total de Bs. 2.112.438,34 (dos millones ciento doce mil cuatrocientos treinta y ocho 34/100 bolivianos).

Tabla 6.1. Presupuesto General de la Obra

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL
1	M01 - ACTIVIDADES PRELIMINARES				
1	PROVISION Y COLOCACION LETRERO DE OBRAS	PZA	1,00	1 076,18	1 076,18
2	INSTALACION DE FAENAS BASICAS	GLB	1,00	2 220,50	2 220,50
	SUBTOTAL M01 - ACTIVIDADES PRELIMINARES				3 296,68
2	M02 - OBRA DE CAPTACION				
3	REPLANTEO DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS	M2	3,61	3,48	12,56
4	EXCAVACION MANUAL DE 0 - 2 METROS	M3	3,94	147,02	579,26
5	HORMIGON ARMADO	M3	1,93	3 938,24	7 600,80
6	REVOQUE INTERIOR DE MORTERO CON SIKA	M2	8,86	170,03	1 506,47
7	PROV E INST ACCESORIOS OBRA DE CAPTACION	GLB	1,00	2 206,87	2 206,87
	SUBTOTAL M02 - OBRA DE CAPTACION				11 905,96
3	M03 - TUBERIAS DE ADUCCION				
8	REPLANTEO Y TRAZADO DE LINEAS DE TUBERIA	ML	12,39	4,77	59,10
9	EXCAVACION MANUAL DE 0 - 2 METROS	M3	2,23	147,02	327,85
10	CAMA DE ARENA PARA TUBOS	M3	0,19	235,06	44,66



11	RELLENO Y COMPACTADO CON TIERRA CERNIDA	M3	0,74	146,93	108,73
12	PROV Y COLOC TUBERIA PVC 4"	ML	32,90	118,88	3 911,15
13	PROV Y COLOC CODO 11 PVC 4"	PZA	2,00	58,16	116,32
SUBTOTAL M03 - TUBERIAS DE ADUCCION					4 567,81
4	M04 - TANQUE DE ALMACENAMIENTO				
14	REPLANTEO (ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES)	M2	127,96	43,33	5 544,51
15	EXCAVACION MANUAL DE 0 - 2 METROS	M3	91,07	147,02	13 389,11
16	HORMIGON ARMADO	M3	93,86	3 938,24	369 643,21
17	REVOQUE INTERIOR DE MORTERO CON SIKA	M2	368,66	170,03	62 683,26
18	PROV E INST ACCESORIOS TANQUE	GLB	1,00	12 996,10	12 996,10
SUBTOTAL M04 - TANQUE DE ALMACENAMIENTO					464 256,19
5	M05 - TUBERIAS DE CONDUCCION				
19	REPLANTEO Y TRAZADO DE LINEAS DE TUBERIA	ML	735,08	4,77	3 506,33
20	RELLENO Y COMPACTADO CON TIERRA CERNIDA	M3	44,10	146,93	6 479,61
21	PROV Y COLOC TUBERIA PVC 4"	ML	735,08	118,88	87 386,31
22	EXCAVACION MANUAL DE 0 - 2 METROS	M3	132,31	147,02	19 452,22
23	CAMA DE ARENA PARA TUBOS	M3	11,03	235,06	2 592,71
24	RELLENO Y COMPACTADO CON TIERRA CERNIDA	M3	44,10	146,93	6 479,61
25	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL COMUN	M3	77,18	184,99	14 277,53
26	PRUEBA HIDRAULICA	ML	735,08	10,78	7 924,16
SUBTOTAL M05 - TUBERIAS DE CONDUCCION					148 098,48
6	M06 - CAMARA VENTOSA				
27	EXCAVACION MANUAL DE 0 - 2 METROS	M3	0,69	147,02	101,44
28	HORMIGON POBRE	M3	0,24	402,61	96,63
29	HORMIGON CICLOPEO CON 50% DE PIEDRA DESPLAZADORA DOSIF:1:24	M3	1,01	538,96	544,35
30	ACCESORIOS DE CAMARA VENTOSA	GLB	3,00	2 232,73	6 698,19
SUBTOTAL M06 - CAMARA VENTOSA					7 440,61
7	M07 - CAMARA PURGA DE LODOS				
31	EXCAVACION MANUAL DE 0 - 2 METROS	M3	3,44	147,02	505,75
32	HORMIGON POBRE	M3	0,41	402,61	165,07
33	HORMIGON CICLOPEO CON 50% DE PIEDRA DESPLAZADORA DOSIF:1:24	M3	1,69	538,96	910,84
34	ACCESORIOS DE CAMARA DE PURGA DE LODOS	GLB	5,00	3 070,12	15 350,60
SUBTOTAL M07 - CAMARA PURGA DE LODOS					16 932,26
8	M08 - RED DE DISTRIBUCION				
35	REPLANTEO Y TRAZADO DE LINEAS DE TUBERIA	ML	3 976,66	4,77	18 968,67
36	EXCAVACION MANUAL DE 0 - 2 METROS	M3	707,30	147,02	103 987,25
37	CAMA DE ARENA PARA TUBOS	M3	58,90	235,06	13 845,03
38	RELLENO Y COMPACTADO CON TIERRA CERNIDA	M3	235,88	146,93	34 657,85
39	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL COMUN	M3	412,70	184,99	76 345,37
40	PROV Y TEND TUB HDPE SDR - 21 PN 8 DN - 50 MM - 1 1/2"	ML	1 377,67	70,85	97 607,92
41	PROV Y TEND TUB HDPE SDR - 21 PN 8 DN - 63 MM - 2"	ML	110,86	105,42	11 686,86
42	PROV Y TEND TUB HDPE SDR - 21 PN 8 DN - 75 MM - 2 1/2"	ML	1 764,60	162,32	286 429,87
43	PROV Y TEND TUB HDPE SDR - 21 PN 10 DN - 90 MM 3 1/2"	ML	218,56	212,27	46 393,73
44	PROV Y TEND TUB HDPE SDR - 21 PN 8 DN - 110 MM - 4"	ML	100,48	425,50	42 754,24

45	PROV Y TEND TUB HDPE SDR - 21 PN 8 DN - 125 MM - 5"	ML	404,48	443,34	179 322,16
46	PRUEBA HIDRAULICA	ML	3 976,66	10,78	42 868,39
SUBTOTAL M08 - RED DE DISTRIBUCION					954 867,34
9	M09 - CAMARA ROMPEPRESION				
47	REPLANTEO DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS	M2	5,07	3,48	17,64
48	EXCAVACION MANUAL DE 0 - 2 METROS	M3	6,08	147,02	893,88
49	HORMIGON POBRE	M3	0,20	402,61	80,52
50	HORMIGON ARMADO	M3	3,60	3 938,24	14 177,66
51	REVOQUE INTERIOR DE MORTERO CON SIKA	M2	18,30	170,03	3 111,55
52	REVOQUE DE CEMENTO EXTERIOR	M2	10,14	274,38	2 782,21
53	PROV E INST ACCESORIOS CRP	GLB	3,00	2 401,35	7 204,05
SUBTOTAL M09 - CAMARA ROMPEPRESION					28 267,51
10	M10 - CAMARA DE DISTRIBUCION E HIDRANTES				
54	REPLANTEO DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS	M2	29,40	3,48	102,31
55	EXCAVACION MANUAL DE 0 - 2 METROS	M3	25,02	147,02	3 678,44
56	HORMIGON CICLOPEO CON 50% DE PIEDRA DESPLAZADORA DOSIF:1:24	M3	19,60	538,96	10 563,62
57	REVOQUE DE CEMENTO INTERIOR	M2	3 643,20	109,77	399 914,06
58	PROV Y COLOC ACCESORIOS HIDRANTE TIPO 1	GLB	14,00	1 239,50	17 353,00
59	PROV Y COLOC ACCESORIOS HIDRANTE TIPO 2	GLB	22,00	1 325,26	29 155,72
60	PROV Y COLOC ACCESORIOS HIDRANTE TIPO 3	GLB	1,00	1 159,42	1 159,42
61	PROV Y COLOC ACCESORIOS HIDRANTE TIPO 4	GLB	6,00	1 267,08	7 602,48
62	PROV Y COLOC ACCESORIOS HIDRANTE TIPO 5	GLB	3,00	1 092,15	3 276,45
SUBTOTAL M10 - CAMARA DE DISTRIBUCION E HIDRANTES					472 805,50
COSTO TOTAL DEL PROYECTO					2 112 438,34

Fuente: Quark – Costos y Presupuestos.

Para el análisis de la factibilidad económica y social del proyecto, se aplicó la metodología establecida en la "Guía para la elaboración de estudios de diseño técnico de preinversión para proyectos de riego menores, medianos y mayores", proporcionada por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua – Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego con el modelo del INSTRUCTIVO 8. Esta guía detalla un enfoque sistemático para la evaluación económica y financiera, adaptado a las particularidades de los proyectos de riego, permitiendo una valoración integral de la viabilidad económica y social del diseño hidráulico del sistema de riego tecnificado por aspersión para la zona de Sojsaña.

6.2.2. Indicadores financieros (privados)

El análisis financiero del proyecto, detallado en la Tabla 6.2, muestra que el Valor Actual Neto Financiero (VANP) es de Bs 8.336.123,18. La Tasa Interna de Retorno Privada (TIRP) es del 42.88%, superando la tasa de corte establecida, y la relación Beneficio/Costo Privado (B/C) es de 2.83, lo que indica que por cada boliviano invertido se recuperan 2.83 bolivianos. Estos

resultados confirman la viabilidad de la inversión desde la perspectiva privada, sugiriendo que el proyecto es financieramente sólido a precios de mercado. La inversión se considera factible para un periodo de análisis de 20 años, la vida útil del proyecto.

Tabla 6.2. Indicadores Financieros (Privados)

INDICADOR	VALOR
VANP	[Bs] 8.336.123,18
B/C	2,83
VACP	[Bs] 4.551.396,26
VAIP	[Bs] 12.887.519,44
TIRP	42,88%
PRC	3,0 años
VACP/hab	[Bs/hab] 2.052,95
VACP/benf	[Bs/benf] 51.139,28
IVAN	3.946.209,00
CAE	Bs 0,39
CAE/hab	[Bs/hab] 178,11
CAE/benf	[Bs/benf] 4.436,86

6.2.3. Evolución económica social

La evaluación económica y social del proyecto implica comparar los beneficios y costos generados por la ejecución del proyecto desde una perspectiva integral de rentabilidad. El objetivo es emitir un juicio sobre la viabilidad del proyecto considerando su impacto global. Para llevar a cabo esta evaluación, se debe determinar el flujo económico de los recursos reales utilizados y producidos por el proyecto, los cuales se valoran utilizando las Razones Precio Cuenta de Eficiencia (RPC), como se detalla en la Tabla 6.3, de acuerdo con las directrices establecidas por el Viceministerio de Planificación del Estado y la Inversión (VIPFE). Este análisis permite valorar el proyecto en términos de su contribución al bienestar social y su impacto económico general.

Tabla 6.3. Razones Precio Cuenta, La Paz

DESCRIPCIÓN	VALOR
RPC Eficiencia de la Divisa	(RPCD) 1,21
RPC Mano de Obra no Calificada Rural	(RPCMONCR) 0,71
RPC Mano de Obra no Calificada Urbana	(RPCMONCU) 0,51
RPC Mano de Obra Calificada	(RPCMOC) 0,50
RPC Mano de Obra Semi Calificada	(RPCMOSC) 0,50

6.2.3.1. Indicadores Socio Económicos

El análisis socioeconómico del proyecto ver Tabla 6.4 muestra un Valor Actual Neto Social (VANS) de Bs 10.779.968,97 y una Tasa Interna de Retorno Social (TIRS) de 43,89%, ambos indicadores superiores a la tasa de corte establecida. Además, la Relación Beneficio/Costo (B/C)

es de 3.27, lo que significa que, por cada boliviano invertido, se recuperan 3.27 bolivianos. Estos resultados confirman la viabilidad del proyecto desde una perspectiva social y económica. El análisis indica que la ejecución del proyecto no solo es financieramente favorable, sino que también genera un impacto positivo en la calidad de vida de las familias beneficiadas, mejorando significativamente su bienestar en términos de tiempo y espacio.

Tabla 6.4. Indicadores Socioeconómicos

INDICADOR	VALOR
VANP	[Bs] 10.779.968,97
B/C	3,27
VACP	[Bs] 4.757.738,57
VAIP	[Bs] 15 537 707,55
TIRP	43,89%
PRC	3.0 años
VACP/hab	[Bs/hab] 2.146,03
VACP/benf	[Bs/benf] 53.457,74
IVAN	5103.092,84
CAE	[Bs] 0,34
CAE/hab	[Bs/hab] 154,43
CAE/benf	[Bs/benf] 3.846,93

Los análisis de Valor Actual Neto Financiero (VANF) y Valor Actual Neto Social (VANS) han mostrado valores positivos, lo que indica que la inversión es óptima. En el período de 20 años, el flujo de caja del proyecto comienza con un saldo negativo, que se reduce gradualmente a medida que se generan ingresos directos e indirectos del sistema de riego tecnificado por aspersión. Los resultados obtenidos en los indicadores financieros y socioeconómicos, presentados en las Tabla 6.2 y Tabla 6.4, sugieren que la ejecución del proyecto es altamente recomendable, dada la alta potencialidad de desarrollo económico y social en la zona de Sojsaña. Además, se han identificado las condiciones técnicas que respaldan la viabilidad del estudio, así como la factibilidad necesaria para avanzar a la siguiente etapa de inversión. Los detalles completos de los indicadores financieros y socioeconómicos están documentados en el ANEXO 14.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- El proyecto de preinversión desarrollado ha cumplido con el objetivo general al proporcionar un diseño técnico integral para la implementación de un sistema de riego tecnificado por aspersión en la zona de Sojsaña. A través de un estudio exhaustivo, abarcando el diseño de toda la infraestructura hidráulica necesaria, garantizando una solución viable y adaptada a las condiciones específicas de la región. Además, este diseño propone beneficiar a 46 familias que dependen de la agricultura de secano y del uso de fuentes primarias de agua, sirviendo como una guía para futuros estudios técnicos de preinversión en proyectos similares.
- El diagnóstico exhaustivo realizado en la zona de Sojsaña permitió identificar las necesidades de riego de las 46 familias beneficiarias, que dependen principalmente de la agricultura. Este análisis incluyó la evaluación detallada de los recursos hídricos, las prácticas agrícolas existentes y las condiciones específicas de la región, como las características topográficas, del suelo y climáticas. También se examinaron los cultivos predominantes (papa, cebada, maíz, haba, arveja, y hortalizas) y los riesgos climáticos, como granizos, sequías y heladas, que afectan la producción agrícola.

Con este diagnóstico, se elaboró una solución técnica que ajusta el sistema de riego tecnificado a las características particulares de la zona de Sojsaña, garantizando una distribución eficiente del recurso hídrico. Asegurando la viabilidad del proyecto y su capacidad para optimizar la productividad agrícola en un entorno sujeto a variaciones climáticas adversas, mejorando así las condiciones de vida de las familias beneficiarias.

- En conclusión, el proyecto de preinversión ha cumplido con el objetivo de diseñar las infraestructuras hidráulicas necesarias para el sistema de riego tecnificado por aspersión. Las obras diseñadas incluyen una obra de captación tipo ladera, un tanque de almacenamiento con capacidad de 260 m³, cámaras de purga de lodos, cámaras ventosas, una red de distribución con cámaras rompedor presión, los hidrantes requeridos y las respectivas tuberías de conducción y aducción.

Además, se prevé que el sistema diseñado sea sostenible a largo plazo, minimizando las pérdidas de agua y maximizando la eficiencia del recurso, lo que asegura su durabilidad en el tiempo. El diseño incorpora soluciones innovadoras adaptadas a las condiciones topográficas y climáticas de la zona de Sojsaña, lo que asegura su óptimo funcionamiento incluso en escenarios adversos.

- El proyecto ha cumplido con el objetivo de analizar y optimizar los recursos hídricos disponibles en la zona de Sojsaña para la implementación de un sistema de riego tecnificado por aspersión. A partir del análisis de la demanda de operación, se determinó que el sistema requerirá un caudal de 17,82 L/s para aspersores de presión media. Esta estimación se basó en un estudio detallado de las necesidades agronómicas y las características del recurso hídrico disponible, lo que garantiza que el diseño del sistema de riego sea adecuado para las condiciones específicas de la zona.

Adicionalmente, los resultados del análisis de la calidad del agua indican que la fuente hídrica disponible es apta para riego, con parámetros que cumplen los estándares requeridos. El RAS de 0,63 y el CE de 0,37 mS/cm, según el diagrama del USDA, clasifica el agua en la categoría "*Clase 2 – S1*", lo que corresponde a "*Aguas de buena calidad aptas para riego*". Esta clasificación, junto con un PSI de 21,67, ubica la calidad del agua en la clase "*Excelente a Buena*", lo que asegura la sostenibilidad del sistema de riego y el bienestar de los cultivos en el largo plazo.

- En el marco del proyecto de preinversión para el sistema de riego tecnificado por aspersión en la zona de Sojsaña, se realizaron los cálculos métricos necesarios y se elaboró un presupuesto detallado que ascendió a Bs. 2 112 438,34. Este presupuesto se fundamentó en precios unitarios verificados, los cuales fueron obtenidos de fuentes confiables como revistas especializadas y cotizaciones de empresas del sector. El análisis de estos precios unitarios fue realizado con la ayuda del software Quark – Costos y presupuestos.

De esta manera, el diseño técnico y el presupuesto propuesto garantizan una solución integral y ajustada a las características específicas de la región.

- La evaluación técnica y económica del proyecto confirmó su viabilidad, tanto en términos financieros como sociales. Los indicadores de rentabilidad financiera, como el Valor Actual Neto Financiero (VANF), la Tasa Interna de Retorno Financiera (TIRF) y la

relación Beneficio-Costo Financiera (B/C), junto con los indicadores de rentabilidad económica (VANE, TIRE, y B/C), demostraron que el proyecto no solo es económicamente rentable, sino que también presenta un impacto positivo en la comunidad de Sojsaña.

Desde el punto de vista técnico, la implementación del sistema de riego tecnificado por aspersión fue diseñada de acuerdo con las recomendaciones y requisitos técnicos, asegurando su funcionalidad y sostenibilidad a largo plazo. Este diseño no solo garantiza el uso eficiente del recurso hídrico, sino que también maximiza los beneficios para las 46 familias dependientes de la actividad agrícola en la zona.

En resumen, el proyecto no solo es físicamente rentable y técnicamente viable, sino que también es socialmente beneficioso, contribuyendo a mejorar el nivel de vida de las familias en Sojsaña. Por tanto, se recomienda su ejecución para promover el desarrollo sostenible de la región.

7.2. RECOMENDACIONES

- En el área del proyecto, se implementó el sistema de riego tecnificado por aspersión basado en una programación de turnos de riego, conforme a lo establecido en el presente estudio. Se recomienda analizar y evaluar alternativas adicionales de diseño hidráulico, con el fin de comparar tanto los costos como la funcionalidad de cada opción. Este análisis permitirá identificar la solución más económica y eficiente, optimizando los recursos y garantizando la sostenibilidad del sistema de riego a largo plazo.
- Se recomienda llevar a cabo investigaciones exhaustivas en el área de estudio sobre diversos métodos de riego tecnificado, considerando distintas alternativas tecnológicas. El objetivo es comparar estas opciones para identificar la solución más eficiente que maximice el ahorro de recursos hídricos, garantizando a la vez la sostenibilidad y la viabilidad técnica y económica del sistema de riego.
- Se sugiere realizar programas de capacitación y asistencia técnica para los agricultores o usuarios finales, con el fin de asegurar una correcta operación y mantenimiento del sistema de riego tecnificado. La formación continua garantizará el uso adecuado de la tecnología y prolongará la vida útil del sistema.

- En caso de una mayor exigencia en la disponibilidad de agua, se recomienda explorar la integración de otras fuentes hídricas, como la captación de aguas pluviales o el uso de aguas residuales tratadas, para complementar el sistema de riego tecnificado y aumentar la resiliencia frente a la escasez de agua.
- Se recomienda implementar un sistema de seguimiento para evaluar la eficiencia hídrica del sistema de riego tecnificado, comparando los rendimientos obtenidos con las necesidades de agua de los cultivos. Esto permitirá ajustar y mejorar continuamente el sistema en base a los resultados obtenidos.
- Para garantizar la sostenibilidad y el éxito a largo plazo del sistema de riego tecnificado, se recomienda desarrollar e implementar un plan integral de monitoreo y mantenimiento periódico.





CAPITULO VIII BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Cabrera, S R, & Torres Trigoso, C R (2019). Estudio y diseño de obra hidráulica, destinada al riego por aspersión, para incrementar la producción agrícola en el caserío Sexemayo Lote I, centro poblado el Cumbe, distrito de Cajamarca Universidad César Vallejos.
- Aparicio Mijares, F J (1997). Fundamentos de Hidrología de Superficie.
- Apuntes curso “Diseño de sistemas de riego” AGR - 351 (2011).
- Avilés, H (2010). El valor del agua en la agricultura.
- Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos en caña de azúcar Guía metodológica (s/f) Cenicana org Recuperado 2021, de <https://www.cenicana.org/balance-hidrico-priorizado-para-la-programacion-de-los-riegos-en-cana-de-azucar/>.
- Bottega, A, & Hoogendam, P (2004). Obras de riego para zonas montañosas Cochabamba – Bolivia.
- Bear, J. (1979). *Hydraulics of Groundwater*. McGraw-Hill
- Calidad del agua de riego (s/f) Com mx Recuperado el 7 de septiembre de 2022, de <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/CALIDAD%20DEL%20AGUA%20DE%20RIEGO.pdf>.
- Carrasco Jiménez, J, Agrónomo, I, & Luis, S R (s/f) Capítulo 2 Propiedades físicas de los suelos y su relación con la producción de Maíz Inia cl.
- Carrazón Alacén, J (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego FAO 2007.
- Catedra de Ingeniería Rural, C (2011) Tema 10 El golpe de Ariete En Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real.
- Chapter 1 -- Irrigation Overview (s/f) Civilizationsfuture com <https://www.civilizationsfuture.com/bsundquist/ir1.html>.
- Chow, V T (2000) Hidrología Aplicada.
- Crespo, C (2017). Infiltración del agua en el suelo Importancia y métodos para medirla Portalfruticola com <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/09/04/infiltracion-del-agua-en-el-suelo-importancia-y-metodos-para-medirla/>.

- Custodio, E., & Llamas, M R (1983). Hidrología Subterránea (Tomo I).
- Custodio, E., & Llamas, M R (2001). Aquifer Characterization. CRC Press.
- FAO. (2003). *Manual de riego tecnificado: Uso eficiente del agua en la agricultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fernández Rodríguez, N (2002). Manual de proyectos Agencia Andaluza del Voluntariado.
- Fetter, C.W (2001). Applied Hydrogeology. Prentice Hall
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2006) Evapotranspiracion del Cultivo: Guías Para Determinacion Los Requerimientos de Agua de Los Cultivos (Estudios Fao: Riego y Drenaje) Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice Hall.
- Fuentes Yague, J L (2004). Técnicas de Riego Mundiprensa.
- Gambini, J M (2011). Caracterización física del suelo para el riego Civilgeeks com; CivilGeeks <https://civilgeeks.com/2011/09/19/caracterizacion-fisica-del-suelo-para-el-riego/>.
- García, J A, Zamora Gómez, J P, & Bilbao, L N (2011). Sistemas de captaciones de agua en manantiales y pequeñas quebradas para la Región Andina.
- Geología, D (2017). Hidrología Superficial y Subterránea.
- González, D, & Mendizabal (2005). Válvulas y Accesorios En Universidad Simon Bolívar Departamento de Termodinámica y Fenómeno de Transferencia.
- Gurovich, L A (1985) Fundamentos y diseño de Sistemas de Riego.
- Hidrantes [https://www mapa gob es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/hidrantes.aspx](https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/hidrantes.aspx).
- Huaylla Limachi, L (2019). Sistema de riego tecnificado.
- Instituto de investigación y Formación Agraria y Pesquera, I (2010). Manual de Riego para Agricultores; Modulo 3; Riego por Aspersión [https://www juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersion.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersion.pdf).
- Israelsen, O. W., & Hansen, V. E. (1985). *Irrigation principles and practices*.

- Jiménez, J L (2014). *Manual Métodos de Riego*.
- Lesur, L (2008). *Manual del riego agrícola*.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua, M (2018). *Guías para la elaboración de estudios de diseño técnico de preinversión para proyectos de riego (menores, medianos y mayores)*.
- Ministerio de Agua, V de S B (2014). *Reglamento Técnico de Diseño para Sistemas de Agua Potable (NB 689)*.
- Ministerio De Vivienda Construcción Y Saneamiento, D de S (2018). *Norma técnica de diseño: opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural*.
- Monge Redondo, M Á (2018). *Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión*.
- Morris, J. (2005). *Hydrogeology and Groundwater*. Springer.
- Nacional De Tecnología, Instituto, Ediciones, A, & Demin, P E (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*.
- Ordoñez Galvéz, J J (2011). *Aguas subterráneas – acuíferos*.
- Ordoñez Gálvez, J J (2012). *Cartilla técnica: Ciclo hidrológico*.
- Precio Promedio Hortalizas Mercado de Bolivia - Dimeagro (s/f) Gob ar Recuperado 2024, de [_precios _internacionales/bolivia / 2016/01 _hortalizas _bolivia _2016-27 php](http://precios_internacionales/bolivia/2016/01_hortalizas_bolivia_2016-27.php).
- Price, M (2003). *Agua subterránea*.
- PROAGRO. (2006). *Manual de riego tecnificado*.
- Saldarriaga, J (2007). *Hidráulica de tuberías abastecimiento de agua, redes, riegos*.
- Sanchez San Roman, F J (s/f). *El ciclo hidrológico Ediciones Universidad Salamanca*.
- Santos Pereira, L de Valero, J A, Picornell Bunedia, M R, & Tarjuelo Martin, J M (2010). *El riego y sus tecnologías*.
- Schwartz, F. & Zhang, H. (2003). *Fundamentals of Ground Water*. Wiley
- Siebert, S, Burke, J, Faures, J M, Frenken, K, Hoogeveen, J, Döll, P, & Portmann, F T (2010). *Groundwater use for irrigation – a global inventory Hydrology and Earth System Sciences, 14(10), 1863–1880 [https://doi.org/10 5194/hess-14-1863-2010](https://doi.org/10.5194/hess-14-1863-2010)*.

- Tarjuelo Martin, B (2005). El riego por aspersión y su tecnología Mundiprensa.
- Tola Aguilar, D O (2015). Guía para el diseño de la Gestión en Sistemas de Riego Colectivos
- Traxco (2009). Humedad en suelos según texturas - Velocidad de infiltración El Blog de Traxco
<https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/humedad-en-suelos-de-diferente-textura>
- UNATSABAR (2004). Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales.
- Variedad, 2012/, & de cosecha Abril período vegetativo, i 80 n t t m d e s d m (s/f) costos de producción por hectárea (Bs) de <https://observatorioagro.gob.bo/wp-content/uploads/2021/12/26-COSTO-CEBADA-GRANO-TRADICIONAL-1.pdf>.
- Variedad, 2012/, & de cosecha Marzo período vegetativo, b n t t m d e s o m (s/f-a) costos de producción por hectárea (Bs) de <https://observatorioagro.gob.bo/wp-content/uploads/2021/12/30-COSTO-CHOCLO-TRADICIONAL.pdf>.
- Variedad, 2012/, & de cosecha Marzo período vegetativo, c n t t m d e s n m (s/f-b) costos de producción por hectárea (Bs) de <https://observatorioagro.gob.bo/wp-content/uploads/2021/12/32-COSTO-HABA-TRADICIONAL.pdf>.
- Variedad, 2012/, Imilla, S, & de cosecha Marzo período vegetativo, p n t t m d e s o m (s/f) costos de producción por hectárea (Bs) de <https://observatorioagro.gob.bo/wp-content/uploads/2021/12/15-COSTO-PAPA-TRADICIONAL-2.pdf>.
- VIPFE (2003). Sistema Nacional de Inversión Pública normas básicas ministerio de hacienda.
- VIPFE (2015) Reglamento de Inversión Pública.
- Weather Atlas (s/f) La Paz, Bolivia - Clima y Previsión meteorológica mensual Weather Atlas,
<https://www.weather-atlas.com/es/bolivia/la-paz-clima>.
- Zanahoria, C (s/f) costos de producción por hectárea (Bs), <https://observatorioagro.gob.bo/wp-content/uploads/2021/12/21-costo-zanahoria-tradicional.pdf>.
- Zegada, A, & Araujo, H (2018). Impacto de los sistemas de riego y micro riego en tres regiones de Bolivia.