



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

Diseño de un sistema de riego presurizado para el sector
Pungoloma de la comunidad de Quilloac del cantón Cañar,
provincia de Cañar

Trabajo de grado previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

Autoras:

PACHA CUTIC QUINDE GUAMÁN
JENNY MARIBEL ZHAGÜI CHUNCHI

Director:

CARLOS JAVIER FERNÁNDEZ DE CÓRDOVA WEBSTER

CUENCA, ECUADOR

2019

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres Magdalena Guamán y Francisco Quinde a mi hermano Kuri Quinde y a mis abuelitos María Pichasaca (+) y Antonio Quindi por todo el amor, sacrificio, trabajo y apoyo incondicional recibido durante todo este proceso de formación y culminación de mi carrera profesional.

Pacha Quinde

El presente trabajo se lo dedico a mis padres quienes han sido el pilar fundamental para que este logro sea una realidad.

A mis hermanos Patricia y Mauricio por su cariño y su apoyo en todo momento.

A mis abuelitos en especial a Rosita y Daniel, que en vida compartían el mismo sueño de un día verme convertida en una profesional y sé que ahora desde el cielo su alegría es más grande aún.

A Xavier por su cariño, amor y apoyo incondicional.

Maribel Zhagüi

AGRADECIMIENTO

A toda nuestra familia por ser la mayor motivación de superación, su apoyo y esfuerzo constante nos ha llevado a cumplir esta meta.

A la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad del Azuay, por formarnos profesionalmente.

De manera especial a nuestro director de tesis, Ing. Javier Fernández de Córdova y al Ing. Josué Larriva, por su paciencia, tiempo y dedicación al guiarnos con sus conocimientos y experiencia a lo largo de este proceso.

A los miembros del tribunal, por brindarnos su tiempo al realizar las correcciones respectivas del proyecto.

A los dirigentes y miembros del sector Pungoloma y a la organización TUCAYTA por su apoyo y colaboración.

A nuestros amigos y todas las personas que de una u otra manera contribuyeron para que este proyecto sea una realidad.

Pacha Quinde, Maribel Zhagüi

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
Introducción.....	1
Antecedentes.....	2
Justificación.....	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
CAPÍTULO 1	5
RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DEL PROYECTO	5
1.1 Descripción general de la zona.....	5
1.1.1 Ubicación geográfica	6
1.1.2 Área del proyecto.....	7
1.1.3 Tipo de sistema.....	8
1.1.4 Uso del suelo	9
1.2 Criterios de calidad del agua	10
1.3 Características físicas del suelo	12
1.4 Clima.....	15
1.5 Topografía.....	18
CAPÍTULO 2	20
CRITERIOS DE DISEÑO.....	20
2.1 Diseño agronómico	20
2.1.1 Precipitaciones.....	20
2.1.1.1 Precipitación probable	20
2.1.1.2 Precipitación efectiva	22
2.1.2 Evapotranspiración	22
2.1.2.1 Evapotranspiración potencial (ETP)	23
2.1.2.2 Evapotranspiración de cultivo (ETc)	25
2.1.2.2.1 Coeficiente de cultivo	25
2.1.2.2.2 Curva del coeficiente del cultivo	26

2.1.3	Necesidades netas de riego.....	27
2.1.4	Parámetros de riego	27
2.1.4.1	Agua utilizable por los cultivos	27
2.1.4.2	Dosis neta de riego	27
2.1.4.3	Intervalo máximo entre riegos	28
2.1.4.4	Dosis neta ajustada.....	28
2.1.4.5	Dosis bruta de riego	29
2.1.4.6	Tiempo mínimo de aplicación	29
2.1.4.7	Necesidades brutas de riego.....	30
2.1.5	Caudal necesario	30
2.1.6	Riego por aspersión	31
2.1.6.1	Componentes de un sistema	32
2.1.6.2	Clasificación de los sistemas de aspersión	32
2.1.6.3	Selección del aspersor	32
2.1.6.3.1	Procedimiento de selección	33
2.1.6.3.2	Tiempo de aplicación	34
2.1.6.3.3	Superficie regada por postura.....	34
2.1.6.3.4	Número de posiciones por día	35
2.1.6.3.5	Superficie regada por día	35
2.2	Diseño hidráulico.....	35
2.2.1	Definiciones generales	35
2.2.2	Hidrostática	36
2.2.3	Hidrodinámica	36
2.2.4	Parámetros de la línea de conducción.....	37
2.2.4.1	Caudal.....	37
2.2.4.2	Pérdidas de carga	38
2.2.4.2.1	Pérdidas de carga singulares debido a las estructuras.....	38
2.2.4.2.2	Pérdidas de carga por fricción	38
2.2.4.3	Velocidad.....	41
2.2.5	Estructuras complementarias.....	42
2.2.6	Elementos especiales de una instalación.....	44
2.2.6.1	Tubería.....	44
2.2.6.1.1	Tuberías de fibrocemento.....	44
2.2.6.1.2	Tuberías de policloruro de vinilo (PVC).....	46
2.2.6.1.3	Tuberías de polietileno (PE).....	47

2.2.6.2	Válvulas	49
2.2.6.2.1	Válvulas check.....	49
2.2.6.2.2	Válvulas de pie	50
2.2.6.2.3	Válvulas de cierre	51
2.2.6.2.4	Válvulas de control	53
2.2.6.3	Bombas	54
2.2.6.4	Accesorios	54
CAPÍTULO 3		58
DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO		58
3.1	Diseño agronómico	58
3.1.1	Estudios preliminares.....	58
3.1.1.1	Delimitación del área de estudio	58
3.1.1.2	Análisis de la calidad de agua.....	58
3.1.1.3	Análisis de suelos.....	61
3.1.2	Características climáticas	64
3.1.2.1	Precipitación	65
3.1.2.1.1	Precipitación probable.....	65
3.1.2.1.2	Precipitación efectiva.....	67
3.1.2.2	Temperatura.....	68
3.1.3	Evapotranspiración potencial	68
3.1.4	Características de cultivo	69
3.1.4.1	Cultivos predominantes.....	69
3.1.4.2	Período vegetativo.....	69
3.1.4.3	Profundidad radicular	70
3.1.5	Evapotranspiración de cultivo	70
3.1.5.1	Coefficiente de cultivo (Kc).....	70
3.1.6	Necesidades netas de riego.....	71
3.1.7	Parámetros de riego	72
3.1.8	Caudal necesario	73
3.2	Diseño hidráulico	74
3.2.1	Topografía	74
3.2.1.1	Estaciones de referencia	74
3.2.1.2	Equipos de medición	75
3.2.2	Diseño hidráulico de la red de distribución.....	76
3.2.2.1	Consideraciones generales.....	76

3.2.2.2	Datos de ingreso para el programa WaterCad	77
3.2.2.3	Resultados de la primera área de riego, zona 1.....	80
3.2.2.4	Resultados de la segunda área de riego, zona 2.....	83
3.2.2.5	Resultados de la tercera área de riego, zona 3	85
3.2.2.6	Resultados de la cuarta área de riego, zona 4	87
3.2.2.7	Resultados de la quinta área de riego, zona 5	89
3.2.2.8	Resultados de la sexta área de riego, zona 6.....	90
3.2.2.9	Resultados de la séptima área de riego, zona 7.....	91
3.2.3	Diseño hidráulico de la parcela demostrativa	92
3.2.3.1	Selección del tipo de aspersor.....	93
3.2.3.2	Diseño a partir de la presión de llegada	95
3.2.3.3	Diseño a partir de un sistema de almacenamiento, con bomba.	97
CAPITULO 4.....		99
VALORACIÓN DEL PROYECTO		99
4.1	Especificaciones técnicas	99
4.2	Cantidades de obra.....	99
4.3	Análisis de precios unitarios	99
4.4	Presupuesto.....	100
4.5	Cronograma valorado.....	100
4.6	Manual de operación y mantenimiento.....	101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		102
BIBLIOGRAFÍA		104
ANEXOS		108
Anexo 1. Resultados del análisis físico-químico del agua de riego.		
Anexo 2. Resultados del análisis bacteriológico del agua de riego.		
Anexo 3. Resultados del análisis de suelos.		
Anexo 4. Valores de precipitación anual del catón Cañar, correspondientes al período 1990-2012.		
Anexo 5. Valores de temperatura anual del cantón Cañar, correspondientes al período 1990-2012.		
Anexo 6. Modelo de encuesta.		
Anexo 7. Resultados de las encuestas.		
Anexo 8. Necesidades netas de riego de los cultivos predominantes.		
Anexo 9. Levantamiento catastral del sector Pungoloma.		
Anexo 10. Red de distribución del sistema de riego presurizado.		

Anexo 11. Perfiles del sistema de riego presurizado.

Anexo 12. Detalles de las cámaras.

Anexo 13. Diseño parcelario para los aspersores tomados como referencia.

Anexo 14. Diseño hidráulico de la parcela demostrativa, alternativa 1.

Anexo 15. Diseño hidráulico de la parcela demostrativa, alternativa 2.

Anexo 16. Especificaciones para tuberías de PVC y Polietileno.

Anexo 17. Especificaciones técnicas.

Anexo 18. Determinación de cantidades de obra.

Anexo 19. Análisis de precios unitarios.

Anexo 20. Presupuesto de obra.

Anexo 21. Cronograma valorado.

Anexo 22. Manual de operación y mantenimiento.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación geográfica del cantón Cañar.	6
Figura 1.2 Ubicación de Pungoloma.....	7
Figura 1.3 Ubicación del área de estudio.	8
Figura 1.4 Uso del suelo del cantón Cañar.....	10
Figura 1.5 Triángulo de texturas del suelo.	13
Figura 1.6 Zonas de temperatura.	16
Figura 1.7 Zonas de precipitación.	17
Figura 1.8 Pendientes del cantón Cañar.....	19
Figura 2.1 Tuberías de fibrocemento.	44
Figura 2.2 Tuberías de policloruro de vinilo (PVC).....	46
Figura 2.3 Tuberías de polietileno (PE).	47
Figura 2.4 Tipos de válvulas check.	50
Figura 2.5 Tipos de válvulas de pie.	51
Figura 2.6 Tipos de válvulas de cierre	52
Figura 2.7 Válvula de control.	53
Figura 2.8 Juntas para la unión de tuberías de fibrocemento.	55
Figura 2.9 Accesorios para unión de tuberías de PVC	56
Figura 2.10 Accesorios de polietileno para unión de tuberías de polietileno.....	57
Figura 2.11 Accesorios de latón para unión de tuberías de polietileno.	57
Figura 3.1 Acompañamiento de dirigentes y moradores del sector Pungoloma durante la delimitación del área de estudio.....	58
Figura 3.2 Muestreo de agua para el análisis físico-químico.....	59
Figura 3.3 Muestreo de agua para el análisis bacteriológico.	59
Figura 3.4 Zonas de muestreo para el análisis de suelos.	62
Figura 3.5 Toma de muestras de suelo.....	63
Figura 3.6 Cuarteo de la muestra homogenizada, realizado en campo.....	63
Figura 3.7 Valor económico de los cultivos en el sector Pungoloma.	67
Figura 3.8 Cambios en el kc de la papa, a lo largo de las fases de cultivo.	71
Figura 3.9 Medición del caudal de ingreso.	73
Figura 3.10 Puntos de referencia.....	75
Figura 3.11 Estaciones auxiliares de referencia	75
Figura 3.12 Equipos de medición.....	76

Figura 3.13 Predio seleccionado.....	93
Figura 3.14 Distribución de aspersores.....	95
Figura 3.15 Modelación hidráulica de la parcela demostrativa, alternativa 1.....	96
Figura 3.16 Modelación hidráulica de la parcela demostrativa, alternativa 2.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Criterios de calidad admisibles para aguas destinadas a uso agrícola.....	11
Tabla 1.2 Diámetro de las partículas del suelo	13
Tabla 1.3 Rangos de pendientes del cantón Cañar.	18
Tabla 2.1 Insolación máxima diaria (N) para diferentes latitudes para el día 15vo del mes.	24
Tabla 2.2 Eficiencias de riego estimadas en función del método de riego.	29
Tabla 2.3 Valores del factor de reducción por la pendiente.....	30
Tabla 2.4 Coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach en función del material y estado de la tubería.	40
Tabla 2.5 Coeficiente de Hazen-Williams (C).	41
Tabla 2.6 Velocidades máximas permisibles y su correspondiente coeficiente de rugosidad de Manning en función del material de la tubería.	42
Tabla 2.7 Clasificación de las tuberías de fibrocemento.	45
Tabla 2.8 Espesor de la pared de las tuberías de fibrocemento.....	45
Tabla 2.9 Espesor de la pared de las tuberías de PVC.....	46
Tabla 2.10 Espesor de pared en tuberías de PE de baja densidad.	48
Tabla 2.11 Espesor de pared en tuberías de PE de alta densidad.	48
Tabla 3.1 Resultados del análisis físico-químico del agua de riego.	60
Tabla 3.2 Resultados del análisis bacteriológico del agua de riego.	61
Tabla 3.3 Análisis de textura del suelo del sector Pungoloma.	64
Tabla 3.4 Precipitación promedio mensual.	65
Tabla 3.5 Valores del índice de precipitación (Ip) y probabilidad de ocurrencia (Pr).....	66
Tabla 3.6 Índice de precipitación en función del valor económico del cultivo.....	66
Tabla 3.7 Precipitación probable mensual al 75%.....	67
Tabla 3.8 Precipitación efectiva mensual.....	68

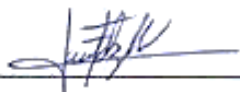
Tabla 3.9 Temperatura promedio mensual.....	68
Tabla 3.10 Número de horas de sol al día.	68
Tabla 3.11 Cálculo de la evapotranspiración potencial.	69
Tabla 3.12 Cultivos predominantes en el sector Pungoloma.	69
Tabla 3.13 Período vegetativo de los cultivos.....	70
Tabla 3.14 Profundidad radicular de los cultivos.	70
Tabla 3.15 Valores de los coeficientes de cultivo.	71
Tabla 3.16 Necesidad neta de riego de la papa.	72
Tabla 3.17 Parámetros de riego.	72
Tabla 3.18 Caudal necesario.	73
Tabla 3.19 Estaciones de referencia	74
Tabla 3.20 Información previa para el diseño hidráulico.....	78
Tabla 3.21 Resumen de nodos, zona 1.....	80
Tabla 3.22 Resumen de tuberías, zona 1.....	81
Tabla 3.23 Resumen de nodos, zona 2.....	83
Tabla 3.24 Resumen de tuberías, zona 2.....	84
Tabla 3.25 Resumen de nodos, zona 3.....	85
Tabla 3.26 Resumen de tuberías, zona 3.....	86
Tabla 3.27 Resumen de nodos, zona 4.....	87
Tabla 3.28 Resumen de tuberías, zona 4.....	88
Tabla 3.29 Resumen de nodos, zona 5.....	89
Tabla 3.30 Resumen de tuberías, zona 5.....	89
Tabla 3.31 Resumen de nodos, zona 6.....	90
Tabla 3.32 Resumen de tuberías, zona 6.....	90
Tabla 3.33 Resumen de nodos, zona 7.....	91
Tabla 3.34 Resumen de tuberías, zona 7.....	92
Tabla 3.35 Requerimientos de la parcela seleccionada.....	93
Tabla 3.36 Parámetros de diseño de la parcela demostrativa.....	94
Tabla 3.37 Resumen de nodos de la parcela demostrativa, alternativa 1.....	96
Tabla 3.38 Resumen de tuberías de la parcela demostrativa, alternativa 1.....	96
Tabla 3.39 Resumen de nodos de la parcela demostrativa, alternativa 2.....	98
Tabla 3.40 Resumen de tuberías de la parcela demostrativa, alternativa 2.....	98

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO PARA EL SECTOR
PUNGOLOMA DE LA COMUNIDAD DE QUILLOAC DEL CANTÓN CAÑAR,
PROVINCIA DE CAÑAR”**

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló el sistema de riego presurizado del sector Pungoloma en la provincia de Cañar, con un área de riego de 24.65 ha que beneficia a 87 usuarios. Se realizaron análisis de suelo y agua, encuestas a usuarios para determinar el tipo y porcentaje de cultivos del sector. Con estos resultados se determinó el cultivo que presenta el mayor requerimiento hídrico y se realizó el diseño hidráulico de la red de tuberías y obras civiles. Además, se diseñó un modelo de riego por aspersión para una parcela, se elaboró el presupuesto del proyecto, cronograma valorado y el manual de operación y mantenimiento del sistema.

Palabras claves: riego, presurizado, encuestas, aspersión, requerimiento hídrico, presupuesto.



Ing. Carlos Javier Fernández De Córdova Webster

Director del Trabajo de Titulación



Ing. José Fernando Vázquez Calero

Coordinador de Escuela



Pacha Cutic Quinde Guamán

Autora



Jenny Maribel Zhagüi Chunchi

Autora

**"DESIGN OF A PRESSURIZED IRRIGATION SYSTEM FOR THE
PUNGOLOMA SECTOR OF THE QUILLOAC COMMUNITY IN CAÑAR,
PROVINCE OF CAÑAR"**

ABSTRACT

In this work, the pressurized irrigation system of the Pungoloma sector in the province of Cañar was developed with an irrigation area of 24.65 ha., which would benefit 87 users. Soil and water analyzes were carried out. User surveys were conducted to determine the type and percentage of crops in the sector. With these results, the crop with the highest water requirement was determined and the hydraulic design of the pipeline network and civil works were carried out. In addition, a sprinkler irrigation model was designed for a lot of land. The budget, valued schedule and the operation and maintenance manual of the system were elaborated.

Keywords: irrigation, pressurized, surveys, sprinkling, water requirement, budget.



Ing. Carlos Javier Fernández De Córdova Webster

Thesis Director



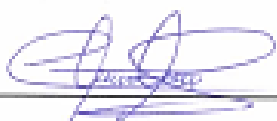
Ing. José Fernando Vázquez Calero

Faculty Coordinator



Pacha Cutic Quinde Guamán

Author



Jenny Maribel Zhagüi Chunchi

Author



Translated by
Ing. Paul Arpi

Pacha Cutic Quinde Guamán

Jenny Maribel Zhagüi Chunchi

Trabajo de Titulación

Ing. Carlos Javier Fernández de Córdova Webster

Diciembre, 2018

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO PARA EL SECTOR
PUNGOLOMA DE LA COMUNIDAD DE QUILLOAC DEL CANTÓN
CAÑAR, PROVINCIA DE CAÑAR”**

Introducción

La organización Tucuy Cañaris Ayllucunapa Tantanacuy (TUCAYTA), con la finalidad de mejorar la eficiencia en el sistema de riego; principalmente en los aspectos técnico y operativo, ha realizado un convenio de cooperación con la Universidad del Azuay y la Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia en Construcciones de la Facultad de Ciencia y Tecnología, para llevar a cabo el estudio de un diseño de riego presurizado para el sector Pungoloma de la comunidad de Quilloac del cantón Cañar, provincia de Cañar.

Existen diversos sistemas de riego, entre los más conocidos se tiene el sistema de riego por gravedad o superficial, este se aplica directamente sobre el suelo y se distribuye a través de surcos o canales. Es el método de riego más barato ya que no requiere de tecnificación ni preparación del regante, sin embargo, es el menos eficiente puesto que ocasiona mayores pérdidas de agua tanto en la parcela como en la red de distribución (Schwab, Frevert, Edminster, & Barnes, 1990).

Otro de los principales sistemas es el riego por goteo que suministra pequeñas cantidades de agua a plantas individuales mediante el uso de emisores de diseño especial o mediante tubos porosos, que aplican el agua directamente en la zona de las raíces consiguiendo así pérdidas mínimas por evaporación pero debido a que las

tuberías de distribución están sobre la superficie dificultan el manejo de la maquinaria de campo (Schwab et al., 1990).

Por su parte, un sistema de riego presurizado es más eficiente puesto que conduce el agua a presión por medio de tuberías y laterales de riego que permiten adaptar una serie de emisores en dependencia de las necesidades del usuario. Además, es un sistema que se adapta fácilmente a la topografía de la zona en la que se vaya a implementar.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal realizar el diseño de un sistema de riego presurizado para el sector Pungoloma de la comunidad de Quilloac, el mismo que incluye: captación y red de conducción y distribución. Con ello se pretende mejorar la eficiencia del sistema de riego actual, contribuyendo de esta manera al desarrollo e incremento de la productividad de la zona.

Antecedentes

El sector Pungoloma perteneciente a la comunidad de Quilloac en el cantón Cañar, donde sus principales actividades productivas son la agricultura y ganadería es beneficiario del sistema de riego Patococha, cuyo manejo, operación y mantenimiento está bajo la responsabilidad de la organización TUCAYTA. Este sistema está compuesto de tres partes principales: embalses, captación y canal principal y zona de riego que beneficia a cerca de mil quinientas familias de 13 comunidades y 7 cooperativas. Dispone de una fuente de agua que se origina en la cuenca del mismo nombre y que aporta alrededor de 90 l/s, adicional a ésta, cuenta también con el aporte de 210 l/s provenientes de dos embalses en los meses de verano. A pesar de ello este caudal no es suficiente para cubrir la demanda real que se estima es de aproximadamente 555 l/s para cubrir 1110 hectáreas.

Por su parte, el sector de Pungoloma con un área total de 39.82 hectáreas, recibe un caudal promedio de 20 l/s, beneficiando a alrededor de 300 habitantes de aproximadamente 60 familias.

Justificación

El sistema de riego utilizado hasta el momento por los habitantes del sector Pungoloma de la comunidad de Quilloac se realiza de manera artesanal, por aspersión y conducción a gravedad, sin embargo, la aplicación de riego por aspersión registra problemas al existir caudales grandes y frecuencias muy espaciadas, lo que obliga a los agricultores a retirar los pitones de los aspersores y tratar de regar en menor tiempo provocando la presencia de escorrentía, pérdida de agua, mala uniformidad en la aplicación del riego y deterioro de los cultivos por el golpeteo del agua.

Para lograr presión en los aspersores, los agricultores arrastran cientos de metros de manguera debido a que la presión existente no es suficiente para que los equipos de riego trabajen de manera uniforme. A éstos inconvenientes se suma el problema de filtración que se registra en el sistema de almacenamiento, debido a que se producen pérdidas de agua en aproximadamente el cuarenta por ciento de reservorios comunales y familiares existentes.

Por todo lo expuesto, la organización TUCAYTA ha llevado a cabo un convenio con la Universidad del Azuay para trabajar de manera conjunta en la realización de un estudio técnico con el objetivo de mejorar la eficiencia del sistema de riego actual, mediante la conversión del sistema de riego por gravedad a sistema de riego presurizado, que funcione aprovechando la topografía inclinada de la zona, misma que varía entre el 8 al 30%.

Objetivos

Objetivo general

Realizar el diseño de un sistema de riego presurizado para el sector Pungoloma de la comunidad de Quilloac, del cantón Cañar, provincia de Cañar.

Objetivos específicos

- Recopilar información necesaria para el diseño, correspondiente a la descripción general de la zona, topografía, características del agua y suelo.
- Definir los criterios de diseño para el sistema de riego presurizado.
- Realizar el diseño hidráulico del sistema de riego presurizado.

- Realizar la valoración del proyecto, obteniendo especificaciones técnicas, análisis de precios unitarios, presupuesto de obra y un manual de operación y mantenimiento.

CAPÍTULO 1

RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DEL PROYECTO

1.1 Descripción general de la zona

El proyecto de diseño de un sistema de riego presurizado para el sector Pungoloma de la comunidad de Quilloac está situado en el cantón Cañar, localizado en la provincia de Cañar al sur del Ecuador, ubicado entre las coordenadas geográficas: latitud S 2°40' a S 2°30' y longitud W 79°0' a W 78°45' (Instituto Geográfico Militar, n.d.). De los resultados obtenidos en el último censo de población y vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el 2010, la población total es de 59.323 habitantes.

Históricamente, este territorio ha puesto su esperanza productiva en actividades como: agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, representando el 59.1% de la población ocupada. (SENPLADES, 2014).

El cantón Cañar como se puede observar en la figura 1.1 está limitado de la siguiente manera:

- Al norte: cantones Suscal y el Tambo.
- Al sur: cantones Biblián y Déleg.
- Al este: cantón Azogues.
- Al oeste: cantón La Troncal.

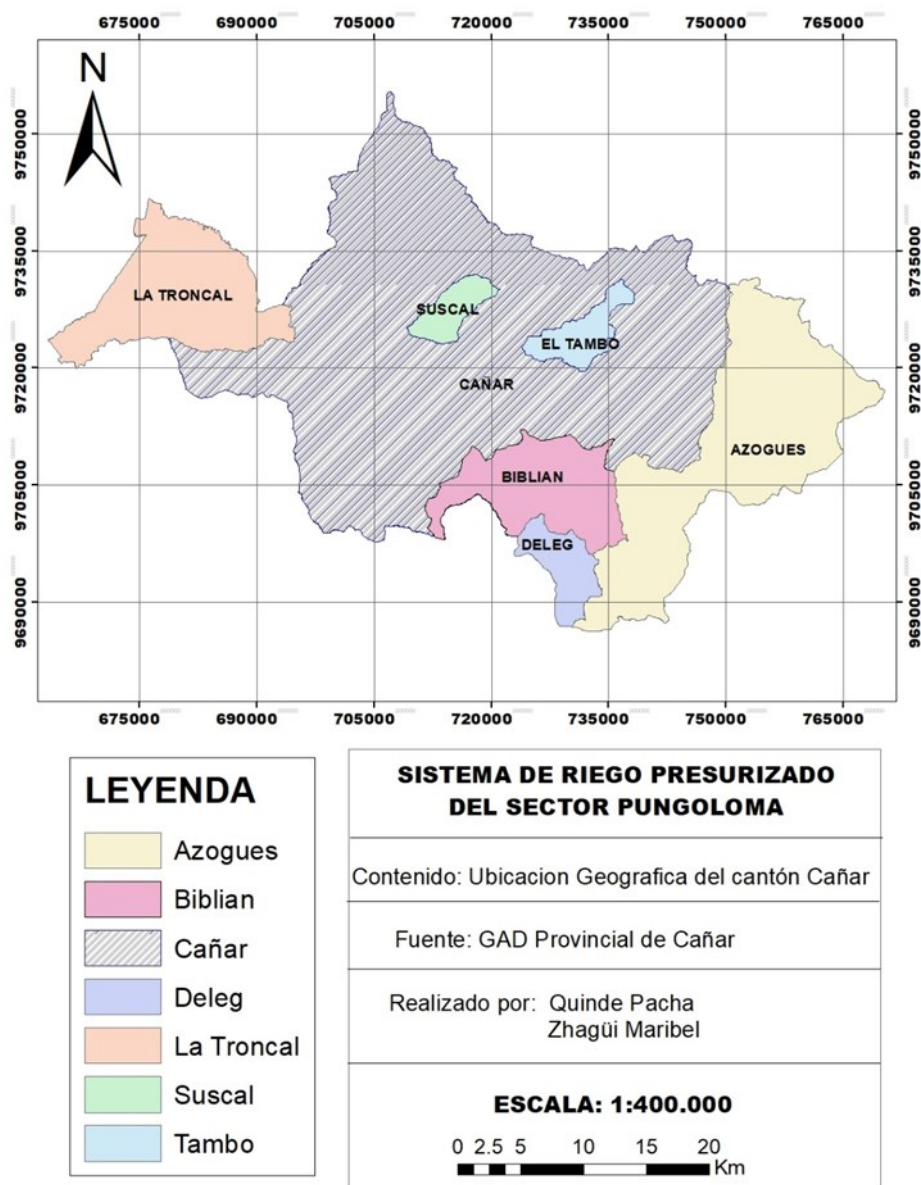


Figura 1.1 Ubicación geográfica del cantón Cañar.
Fuente: (GAD Provincial de Cañar, 2015)

1.1.1 Ubicación geográfica

El sector Pungoloma pertenece a la comunidad Quilloac situada en la parroquia Cañar, cantón Cañar y provincia de Cañar. Refiriéndose al Datum WGS84 en la zona 17 S, sus coordenadas UTM son las siguientes: coordenada Norte: 9717289.680 m y coordenada Este: 72744.061 m, como se muestra en la figura 1.2.

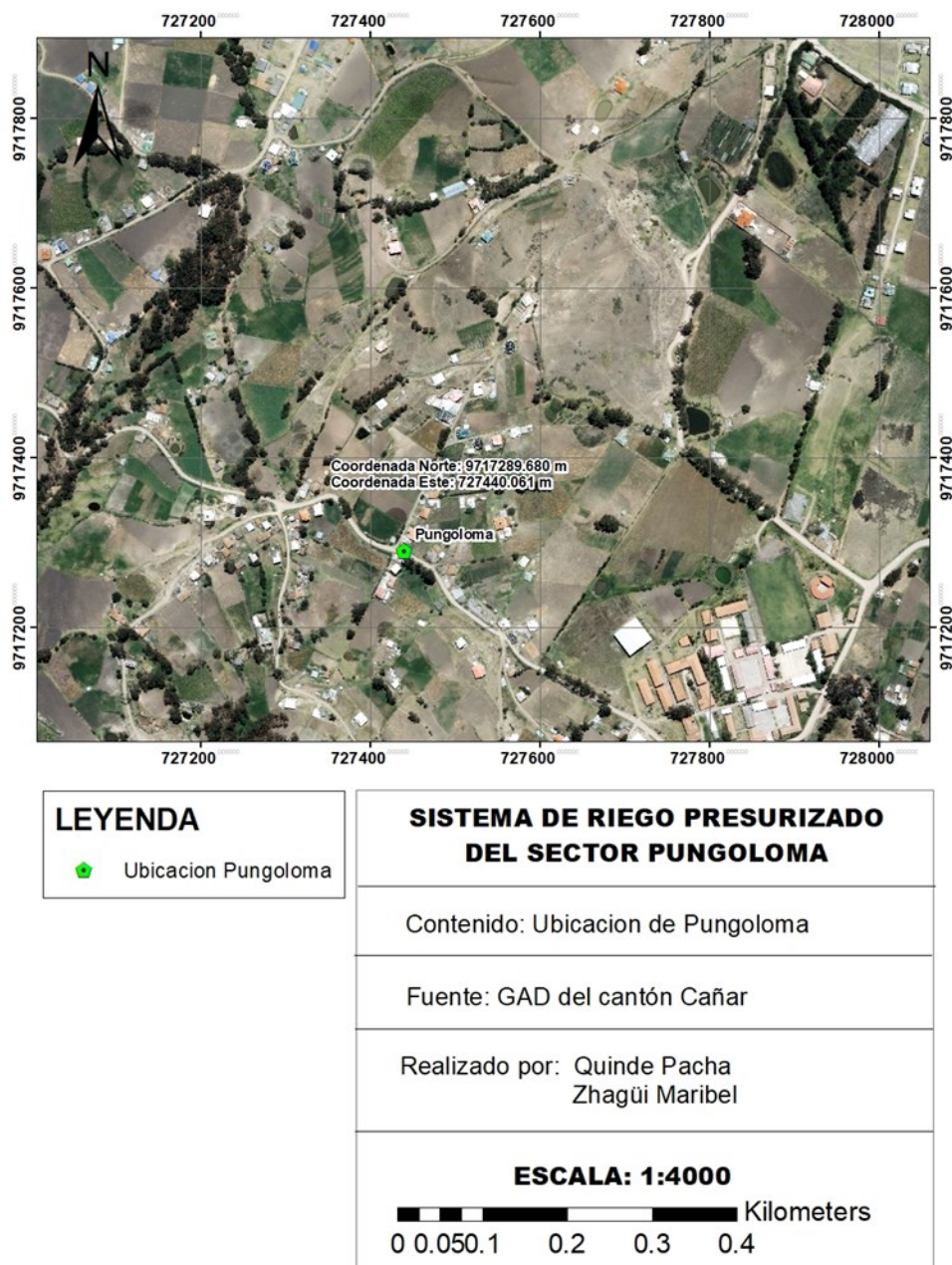


Figura 1.2 Ubicación de Pungoloma.
Fuente: (GAD Provincial de Cañar, 2015)

1.1.2 Área del proyecto

En la descripción del proyecto entregado por la TUCAYTA se detalla un área aproximada de 33 ha correspondientes al sector Pungoloma ubicado en la comunidad de Quilloac, sin embargo, luego del levantamiento topográfico respectivo, se determinó que el área real correspondiente al sector es de 39.82 ha, figura 1.3.

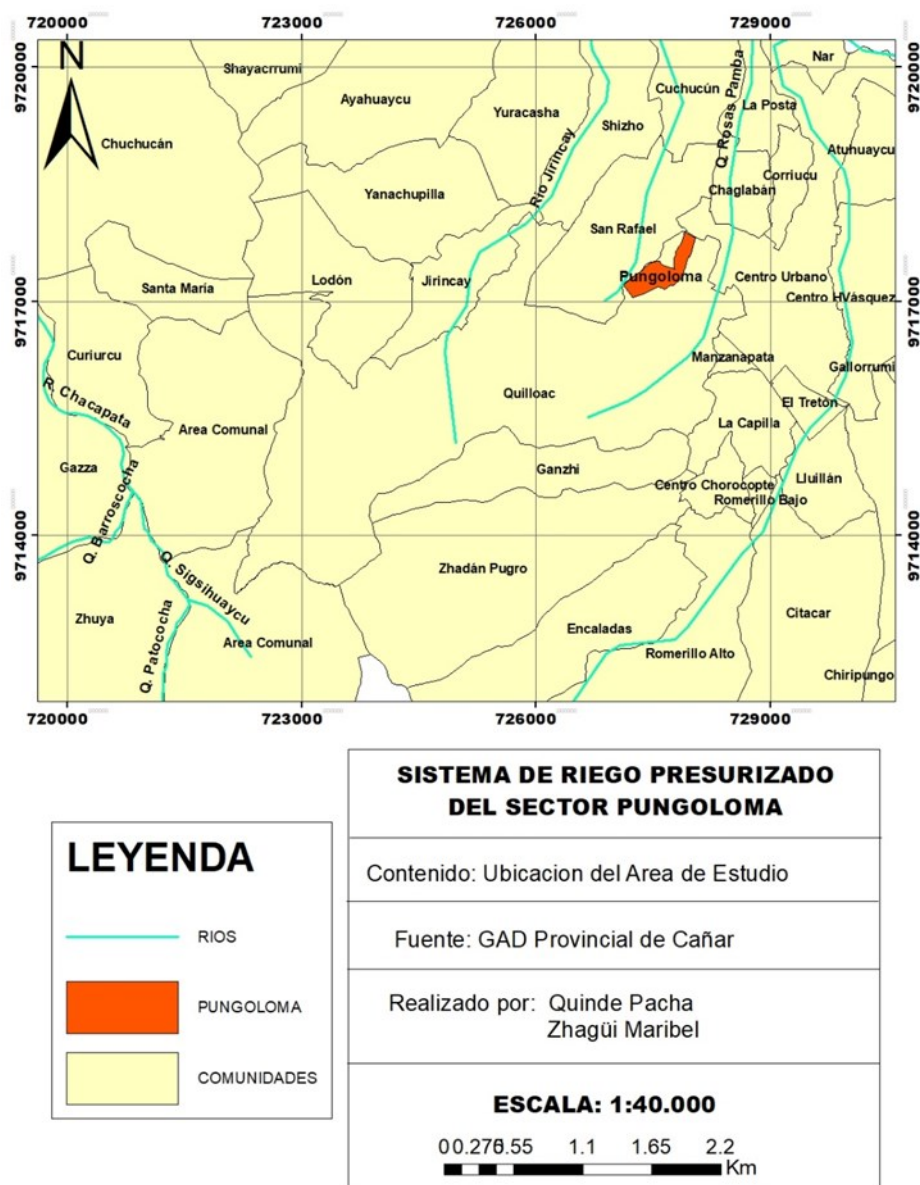


Figura 1.3 Ubicación del área de estudio.
Fuente: (GAD Provincial de Cañar, 2015)

1.1.3 Tipo de sistema

El sector Pungoloma es actualmente beneficiario del Sistema de riego Patococha administrado por la TUCAYTA, este sistema está diseñado para realizar el riego por gravedad, que ha sido adoptado a partir de la época de la Reforma Agraria y consta de diferentes modalidades: gravedad por surco y gravedad por desbordamiento. La dotación de agua de riego que recibe el sector es de 0.5 l/s por hectárea cada 15 días durante 7 días consecutivos. Sin embargo, la sobreexplotación del suelo, la deforestación, el sobrepastoreo, el uso de agroquímicos en los cultivos y la erosión hídrica, han causado la erosión de los predios y déficit hídrico en la zona, esto debido

a que el área de estudio se encuentra ubicada en una zona con pendientes que varían entre 8 a 30%.

Ante el déficit hídrico y problemas de erosión, desde hace más de 10 años, por iniciativa comunitaria e individual de los productores, aproximadamente un 10% de ellos han construido reservorios familiares para almacenar agua y realizar el riego por aspersión artesanal, un 60% de usuarios aplica este método mientras que un 30% aún realizan riego por gravedad.

El riego por aspersión mayormente utilizado se adapta a la infraestructura y caudal actualmente disponibles, consiste en captar en cotas altas a 20 – 30 m de la parcela mediante tomas improvisadas y conducir agua a través de mangueras flex de 1 a 2 pulgadas ubicadas superficialmente, se acoplan mediante codos, T y uniones impermeabilizadas con bandas elásticas de caucho que permiten instalar entre 1 a 4 aspersores. Este sistema produce pérdida de agua en la toma, ya que el agricultor no logra captar todo el caudal disponible en su turno de riego, además a lo largo del sistema artesanal se pierde caudal debido a la filtración que se produce por las uniones y acoples mal impermeabilizados. Una situación preocupante se da por la lluvia producida por los aspersores que supera la capacidad de infiltración del suelo, provocando escorrentía superficial llegando incluso a dañar los cultivos.

1.1.4 Uso del suelo

El cantón Cañar ocupa un área de 1798.51 km² y como se puede apreciar en la figura 1.4, consta de pastizales, páramo, bosques nativos, vegetación arbustiva, vegetación herbácea, áreas sin cobertura vegetal, zonas de plantación forestal, zonas antrópicas entre otros.

Debido a su topografía y clima el cantón cuenta con diversos pisos ecológicos, por su parte el sector Pungoloma que pertenece a la comunidad de Quilloac se encuentra ubicado en el piso ecológico medio, es decir, entre 3000 a 3400 msnm, en donde predomina la producción agrícola de papa, haba, cebada, maíz, arveja y otros cultivos.

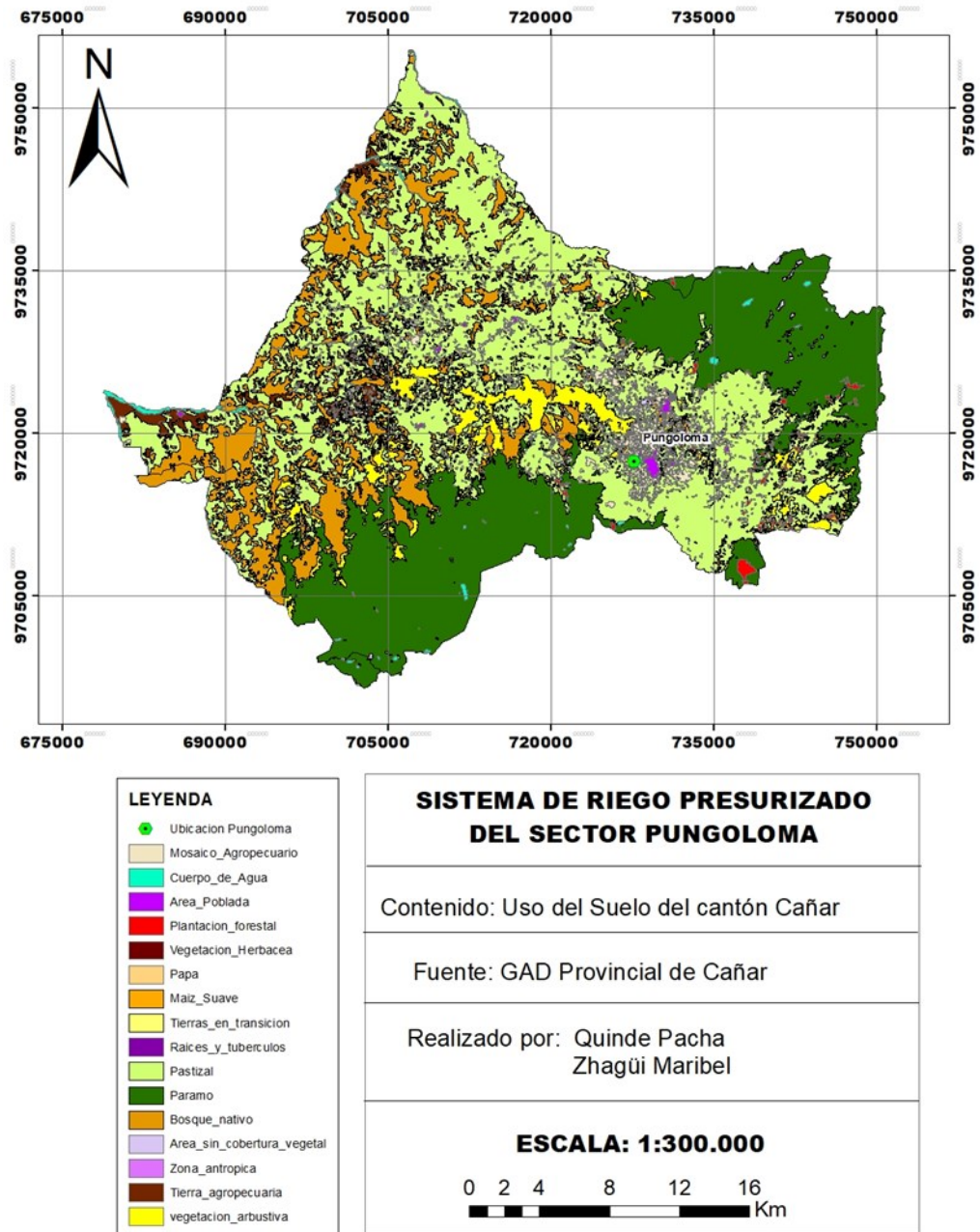


Figura 1.4 Uso del suelo del cantón Cañar.
Fuente: (GAD Provincial de Cañar, 2015)

1.2 Criterios de calidad del agua

Según el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE, 2002), en el Libro VI Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria, se entiende por agua de uso agrícola aquella utilizada para la irrigación de cultivos y actividades complementarias que establezcan los organismos competentes. Se prohíbe el uso de aguas servidas, exceptuando aquellas que hayan sido tratadas y cumplan con los niveles de calidad establecidos.

En la tabla 1.1 se expresan los criterios de calidad admisibles para aguas destinadas a uso agrícola.

Tabla 1.1 Criterios de calidad admisibles para aguas destinadas a uso agrícola.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico (total)	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	1.0
Berilio	Be	mg/l	0.1
Boro (total)	B	mg/l	1.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0.1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0.2
Cobalto	Co	mg/l	0.05
Cobre	Cu	mg/l	2.0
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0.1
Fluor	F	mg/l	1.0
Hierro	Fe	mg/l	5.0
Litio	Li	mg/l	2.5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0.2
Molibdeno	Mo	mg/l	0.01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0.001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0.1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0.2
Plata	Ag	mg/l	0.05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000.0

Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi.			mínimo 2.0 m
Vanadio	V	mg/l	0.1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3
Coliformes totales	nmp/100 ml		1 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	Cero
Zinc	Zn	mg/l	2.0

Fuente: (MAE, 2002)

1.3 Características físicas del suelo

El suelo está compuesto generalmente de rocas degradadas llamadas partículas minerales, y otras que se forman a partir de restos vegetales y animales, éstas son conocidas como materia orgánica, a simple vista puede parecer que las partículas minerales y la materia orgánica se juntan sin dejar espacios entre ellos, pero en realidad existen espacios llamados poros (Carrazón, 2007).

Entre las principales características físicas que afectan la retención del agua en el suelo están: textura, estructura y porosidad.

Textura

La textura hace referencia al contenido de partículas de distinto tamaño como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo (Carrazón, 2007). Así las partículas minerales presentes en el suelo se pueden clasificar de acuerdo al diámetro como se muestra en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Diámetro de las partículas del suelo

Partículas de suelo	Diámetro (mm)
Gravas y Piedra	>2.0
Arena	0.05-2.0
Limo	0.002-0.05
Arcilla	<0.002

Fuente: (Carrazón, 2007)

De acuerdo a la textura de los suelos, éstos se clasifican en arenosos, limosos o arcillosos, según que predomine cada uno de los componentes. Un suelo es de textura franca cuando el contenido de arena, limo y arcilla se encuentra en una proporción equilibrada (Fuentes, 1996).

Las distintas clases de texturas que se visualizan en la figura 1.5, se definen mediante el análisis granulométrico, que otorga los porcentajes en peso de arena, limo y arcilla.

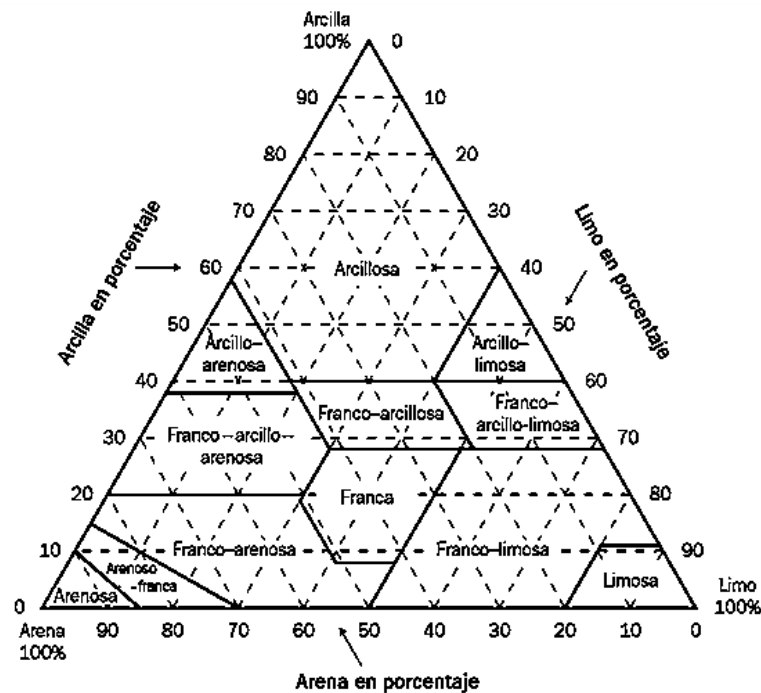


Figura 1.5 Triángulo de texturas del suelo.

Fuente: (Carrazón, 2007)

Estructura

La estructura se refiere a la disposición de las partículas de un suelo para formar otras de mayor tamaño, denominadas agregados. Ésta puede variar debido a que las

fuerzas que unen las partículas de los agregados son muy débiles. Las buenas prácticas culturales y de ordenación de cultivos mejoran la estructura del suelo. Por su parte las labores inadecuadas, poco contenido de materia orgánica, compactación con maquinaria pesada, el golpeteo de las gotas de lluvia, entre otros motivos, provocan la degradación de la estructura (Fuentes, 1996).

Porosidad

Se define como la fracción de volumen de suelo no ocupada por materia sólida, es decir la cantidad de espacios vacíos existentes entre partícula y partícula (Fuentes, 1996). Cuando el suelo está seco, los poros son ocupados generalmente por aire y vapor de agua, mientras que luego de una lluvia o riego intenso los poros se llenan de agua (Carrazón, 2007).

Densidad aparente: Hace referencia a la densidad de un suelo, incluyendo el volumen ocupado por los poros. Se determina dividiendo el peso de una muestra de suelo seco entre el volumen total (Fuentes, 1996).

En el riego es importante conocer su valor debido a que determina la capacidad de almacenaje de agua en el suelo, varía de acuerdo a los cambios que se produzcan como la disminución de materia orgánica o labranza (Carrazón, 2007).

Contenido de agua en el suelo

Constituye una reserva de agua para el crecimiento de las plantas, además permite determinar cuándo regar y en qué magnitud (Carrazón, 2007).

Niveles de humedad en el suelo

Saturación: un suelo está saturado cuando todos sus poros están llenos de agua, ésta situación se presenta luego de una lluvia o riego abundante, en caso de prolongarse este estado es probable que las raíces de las plantas no acuáticas mueran por la falta de respiración. Si a un suelo saturado se le deja drenar el agua sobrante pasa al subsuelo por la acción de la gravedad (Fuentes, 1996).

Capacidad de campo (CC): Luego de terminada la infiltración se conoce como capacidad de campo al nivel máximo de humedad que el suelo puede retener,

necesaria para el crecimiento de los cultivos, se expresa en porcentaje de volumen de agua (Carrazón, 2007).

Punto de marchitez permanente (PMP): Es un nivel en el que los cultivos a pesar de que aún existe cierta cantidad de agua en el suelo ya no está disponible para él. Esto debido a que el agua se perdió por percolación antes de las plantas pudieran utilizarlo y porque el agua existente en la capacidad de campo fue absorbida poco a poco por las raíces o se perdió por evaporación. Al llegar al punto de marchitez permanente ya no existe la cantidad de agua suficiente para cubrir las necesidades de las plantas, razón por la que se empiezan a marchitar y finalmente mueren (Carrazón, 2007).

1.4 Clima

El cantón Cañar cuenta con una variedad de climas con diferentes temperaturas medias anuales: el páramo a 8.62°C, sin embargo, en ocasiones pueden ser inferiores principalmente en vertientes menos expuestas al sol; el templado con una temperatura media anual de 11.18°C y el subtrópico con temperaturas que oscilan entre los 18°C a 25°C. La humedad relativa media es del 73.8% (GAD del cantón Cañar, 2011). En la figura 1.6. se muestran como están distribuidas las zonas de temperatura en el cantón Cañar.

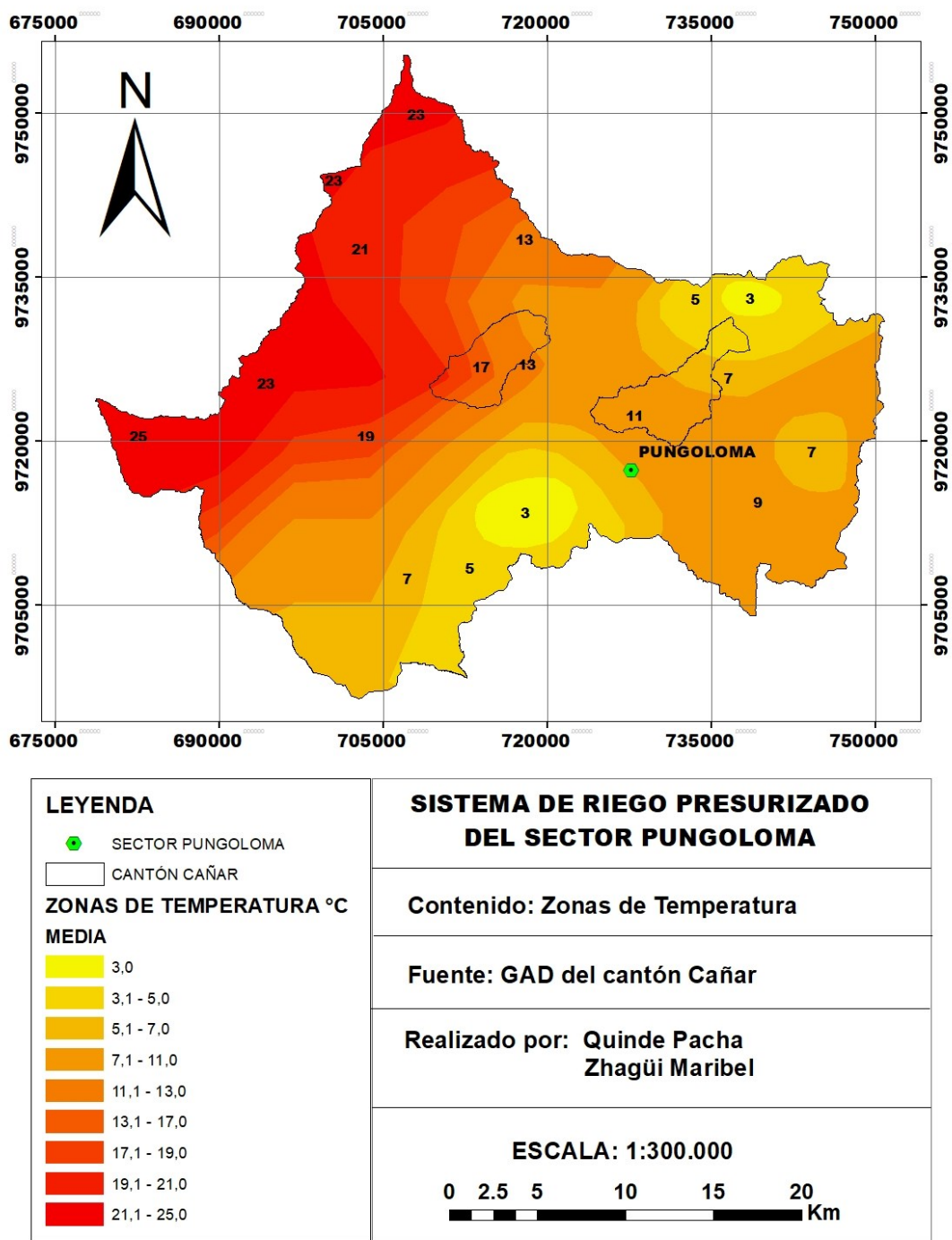


Figura 1.6 Zonas de temperatura.
Fuente: (GAD Provincial de Cañar, 2015)

Las precipitaciones medias anuales están comprendidas entre los 400 mm a 1700 mm como se muestra en la figura 1.7. Cuenta con dos estaciones lluviosas, de febrero a mayo y de octubre a noviembre, mientras que en los meses de junio a septiembre comprenden la estación seca principal, con un temporal de vientos con una velocidad promedio anual de 2.27 m/s, siendo el mes de agosto el que presenta vientos más

fuertes con una velocidad de 3.6 m/s. La segunda estación seca tiene una duración aleatoria, por lo general inferior a tres semanas y se sitúa a finales del mes de diciembre (GAD Provincial de Cañar, 2015).

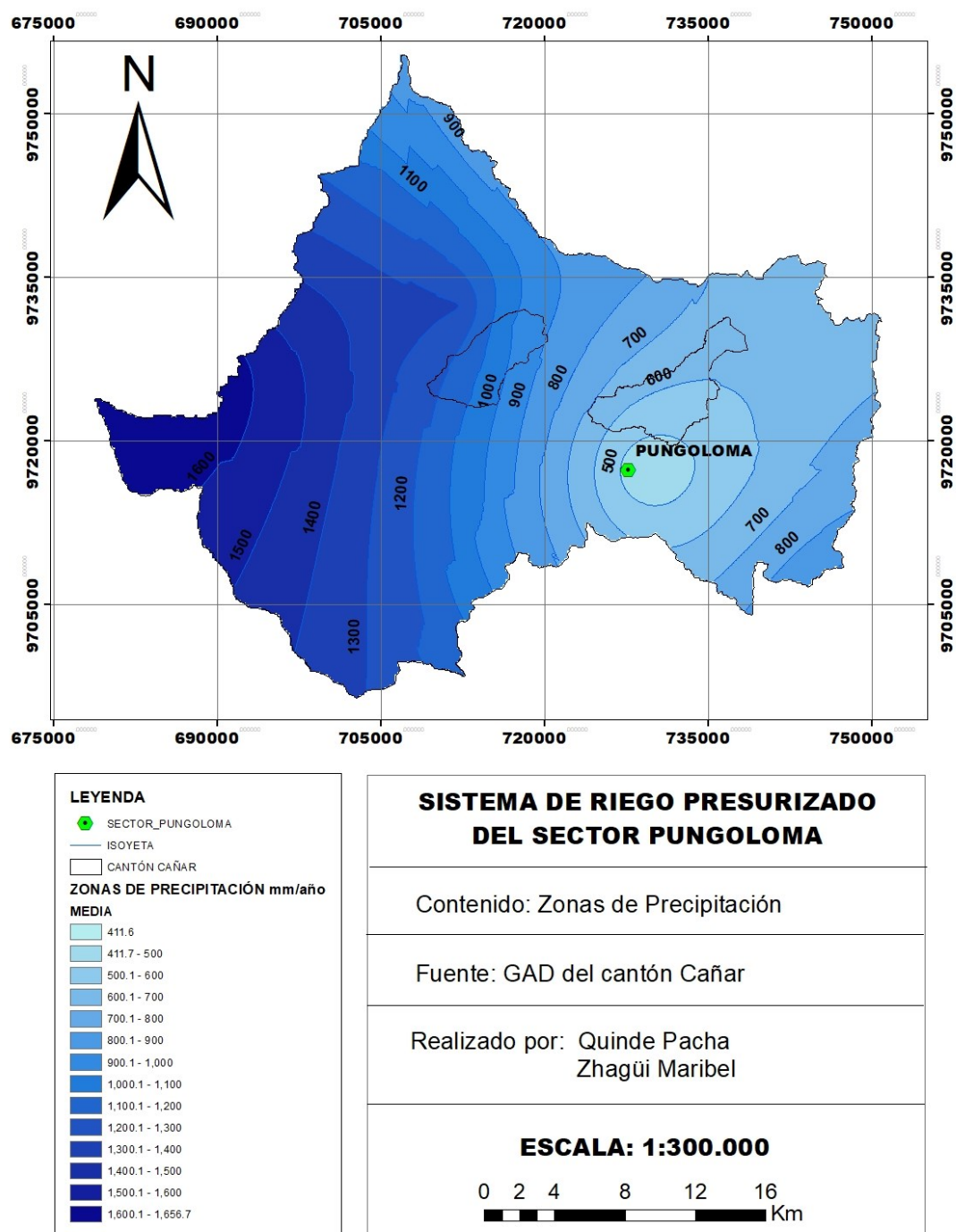


Figura 1.7 Zonas de precipitación.
Fuente: (GAD Provincial de Cañar, 2015)

1.5 Topografía

La provincia de Cañar se encuentra ubicada en el callejón interandino y según El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Cañar realizado por el GAD Provincial de Cañar, el 39.16% del territorio presenta pendientes escarpadas.

El mayor porcentaje de pendientes que predomina en el cantón Cañar se encuentra entre los rangos de 30% a 50 %, ocupando el 27.72 % del total mientras que las pendientes suaves u onduladas de 0-5% y 5-12% ocupan un total de 11.23% como se indica en la tabla 1.3. Estas son áreas en su mayoría productivas y es donde se encuentran la mayoría de los centros poblados del cantón, sin embargo, aún existen muchos asentamientos humanos que se ubican muy cerca de las zonas de pendientes fuertes debido al mal ordenamiento territorial.

Tabla 1.3 Rangos de pendientes del cantón Cañar.

Rangos	Área (Ha)	%	Descripción
0-5	10590.12	5.17	Muy suave
5-12	12420.81	6.06	Muy suave-suave
12-30	51042.87	24.91	Media
30-50	56785.23	27.72	Media-Fuerte
50-70	43771.77	21.36	Fuerte
>70	30276.09	14.78	Muy Fuerte

Fuente: (GAD Provincial de Cañar, 2015)

En la figura 1.8 se muestra la distribución de pendientes en el cantón Cañar.

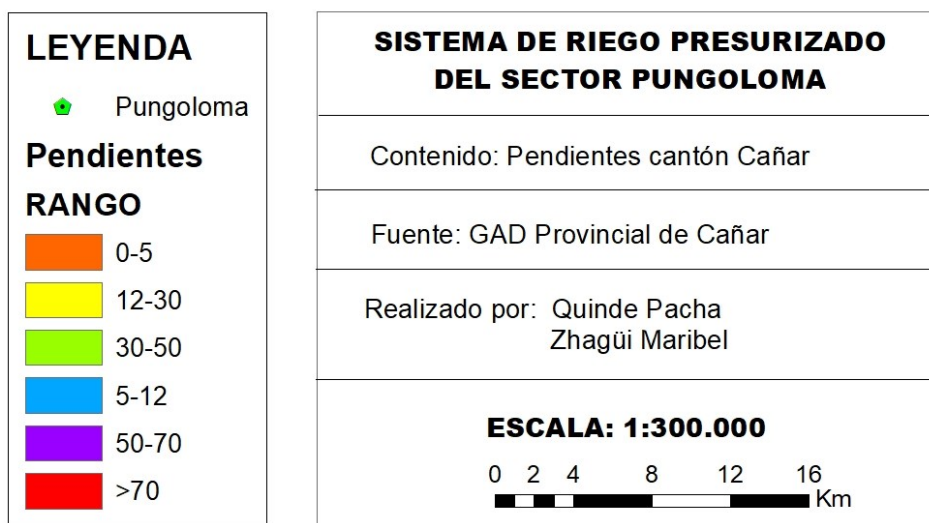
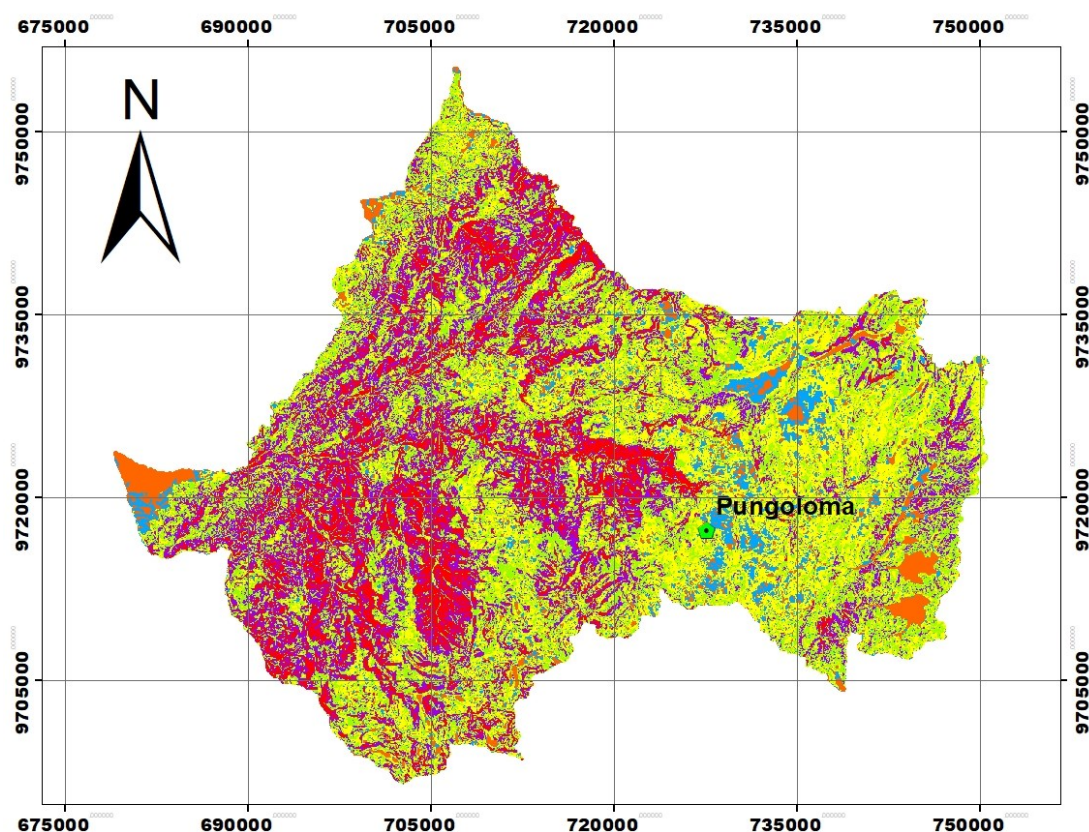


Figura 1.8 Pendientes del cantón Cañar.
Fuente: (GAD Provincial de Cañar, 2015)

CAPÍTULO 2

CRITERIOS DE DISEÑO

2.1 Diseño agronómico

Permite determinar la cantidad de agua necesaria para efectuar el riego de una superficie dada. Para el proyecto del sector Pungoloma la formulación del diseño agronómico se fundamenta en el Manual Práctico para el Diseño de Sistemas de Minirriego del autor, Ingeniero Agrónomo Julián Carrazón Alocén, profesional asociado al Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), publicado a través de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

2.1.1 Precipitaciones

Constituyen uno de los fenómenos atmosféricos más notables, pueden presentarse como: agua líquida, agua sólida (nieve o granizo) o una mezcla de ambos. Se producen cuando el aire cargado de vapor asciende hacia las capas frías de la atmósfera a temperaturas entre los 20 y 30 °C bajo cero, produciéndose el efecto de condensación. En esta etapa aparecen pequeños cristales de hielo, gotas de agua y vapor de agua, que bajo las circunstancias se crea un proceso de aglomeración haciendo que aumenten su tamaño y peso y cuando alcanzan una proporción determinada caen por efecto de la gravedad (Grupo Latino, 2013).

2.1.1.1 Precipitación probable

Para el cálculo de las necesidades de riego la literatura con frecuencia considera las precipitaciones promedio, sin embargo, en climas variables, se recomienda trabajar con datos de precipitación probable y no promedio, puesto que existe la posibilidad de que un valor semejante o superior se presente cada muchos años (Carrazón, 2007).

De acuerdo al valor económico que tengan los cultivos, se recomienda trabajar con distintas probabilidades de precipitaciones. Así, por ejemplo, para cultivos de alto valor económico se suele trabajar con precipitaciones al 90% de probabilidad, para autoconsumo y renta para el mercado al 75% y de poco valor económico al 60% de probabilidad.

La precipitación probable se determina mediante la ecuación 1:

$$P_{pm} = I_p * P_p \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

P_{pm} = Precipitación probable mensual (mm).

I_p = Índice de precipitación.

P_p = Precipitación promedio anual (mm).

En función de la probabilidad a la que se vaya a trabajar se define el índice de precipitación, para ello existen 3 posibilidades de obtención:

1. Cuando se tiene una serie completa de los datos de precipitación de una estación climática cercana al proyecto, es decir se dispone de datos mensuales de varios años.

Para este caso el índice de precipitación se calcula de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se ordena los datos de precipitación anual de mayor a menor.
- Se calcula el índice de precipitación para cada dato, mediante la ecuación 2.

$$I_p = \frac{P}{P_p} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

I_p = Índice de precipitación.

P = Precipitación de cada año (mm).

P_p = Precipitación promedio anual (mm).

- Se determina la probabilidad de ocurrencia para cada valor de precipitación anual, ecuación 3.

$$P_r = \frac{2^{*m}-1}{2^{*N}} * 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

P_r = Probabilidad de ocurrencia (mm).

m = Número de orden de cada valor de precipitación anual.

N = Número de años de la serie de datos.

- El índice de precipitación para la probabilidad deseada se obtiene aplicando la ecuación 4.

$$I_p \text{ buscado} = I_p \text{ mayor} - \frac{P_r \text{ buscado} - P_r \text{ menor}}{P_r \text{ mayor} - P_r \text{ menor}} * (I_p \text{ mayor} - I_p \text{ menor})$$

(Ecuación 4)

2. Cuando se dispone de los datos de precipitación probable de una estación climática cercana al proyecto.
3. Cuando no se cuenta con datos de ninguna estación cercana, se recurre a datos teóricos del índice de precipitación.

2.1.1.2 Precipitación efectiva

Es una fracción de la precipitación total anual o estacional, se la utiliza para satisfacer las necesidades de agua que tiene el cultivo, no se incluye la escorrentía, evaporación e infiltración profunda (Vivar, 1995).

Carrazón (2007), propone las siguientes ecuaciones en función de la precipitación probable mensual (P_{pm}):

- a. P_{pm} menor a 250 mm, ecuación 5.

$$P_e = (125 - 0.2 * P_{pm}) * \frac{P_{pm}}{125}$$

(Ecuación 5)

- b. P_{pm} mayor a igual a 250 mm, ecuación 6.

$$P_e = 0.1 * P_{pm} + 125$$

(Ecuación 6)

Donde:

P_e = Precipitación efectiva (mm)

P_{pm} = Precipitación probable mensual (mm).

2.1.2 Evapotranspiración

Representa la combinación de dos procesos separados, evaporación y transpiración. La evaporación que es el proceso por el cual el agua líquida se transforma en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante, la transpiración que consiste en la vaporación del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

2.1.2.1 Evapotranspiración potencial (ETP)

Es un parámetro climático que manifiesta el poder evaporante de la atmósfera (Allen et al., 2006), definida como la velocidad a la que un determinado clima trata de evaporar el agua del sistema suelo vegetación (Scheff & Frierson, 2014). Constituye uno de los parámetros necesarios para iniciar la planeación de un proyecto de riego, en varias bibliografías también se refiere a ésta como evapotranspiración de referencia ETo.

Para determinar la evapotranspiración se emplean una serie de métodos a partir de factores climáticos y de fórmulas empíricas entre los más destacados están los de Blaney – Criddle, Turc, Penman y Thornthwaite (Montaner, Sánchez, & Serrano, 1988).

En este caso se describe el método de Thornthwaite, ampliamente utilizado por la simplicidad de aplicación, para el cálculo de la evapotranspiración relaciona valores medios mensuales de temperatura y precipitación, y un factor de corrección que varía con el mes y con la latitud, ecuación 7 (Montaner et al., 1988).

$$e = 16 * \left(10 * \frac{tm}{I}\right)^a \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

e = Evapotranspiración mensual sin ajustar en (mm/mes)

tm = Temperatura media mensual en °C

I = Índice de calor anual, ecuación 8.

$$I = \sum i_j ; j = 1, \dots, 12 \quad (\text{Ecuación 8})$$

Calculado a partir del índice de calor mensual, i, como la suma de los doce índices de calor mensuales, ecuación 9:

$$i_j = \left(\frac{tm}{5}\right)^{1.514} \quad (\text{Ecuación 9})$$

a = Parámetro calculado en función de I, estimado a través de la ecuación 10:

$$a = 0.000000675 * I^3 - 0.0000771 * I^2 + 0.01792 * I + 0.49239 \quad (\text{Ecuación 10})$$

Los valores obtenidos de “e” deben ser corregidos mediante un factor de corrección que relaciona la duración del mes y el número de horas de insolación teórica, variables que dependen de la latitud a la que está ubicada la estación meteorológica de la cual se ha tomado los datos climatológicos (Montaner et al., 1988).

Por lo tanto, la ecuación 11 de la evapotranspiración potencial corregida ETP se expresa de la siguiente manera:

$$ETP = e * L \quad (mm/d) \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

e = Evapotranspiración mensual sin corregir en mm/día

L = Factor de corrección, ecuación 12.

$$L = \left(\frac{N_d}{30} \right) * \left(\frac{N}{12} \right) \quad (\text{Ecuación 12})$$

N_d = Número de días del mes.

N = Duración astronómica del día N-horas de sol o insolación máxima diaria.

A continuación, se presentan los valores de N durante el quinceavo día del mes para diferentes latitudes del Hemisferio Sur, promediados para todos los días del mes, con un error de estimación menor al 1%, ver tabla 2.1.

Tabla 2.1 Insolación máxima diaria (N) para diferentes latitudes para el día 15vo del mes.

Lat. grad.	Hemisferio Sur											
	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
70	24.0	17.4	13.0	8.4	2.7	0.0	0.0	6.4	11.2	15.7	21.7	24.0
68	21.9	16.7	12.9	8.7	4.3	0.0	1.7	7.0	11.3	15.3	19.9	24.0
66	20.1	16.2	12.8	9.1	5.3	2.0	3.7	7.6	11.3	15.0	18.8	22.1
64	19.0	15.8	12.8	9.3	6.1	3.7	4.8	8.0	11.4	14.7	18.0	20.3
62	18.3	15.5	12.7	9.6	6.7	4.8	5.6	8.3	11.4	14.5	17.4	19.2
60	17.6	15.2	12.6	9.8	7.2	5.6	6.3	8.7	11.5	14.3	16.9	18.4
58	17.1	14.9	12.6	9.9	7.6	6.2	6.8	8.9	11.5	14.1	16.5	17.8
56	16.7	14.7	12.5	10.1	8.0	6.7	7.2	9.2	11.6	13.9	16.1	17.3
54	16.3	14.5	12.5	10.2	8.3	7.2	7.6	9.4	11.6	13.8	15.8	16.9
52	16.0	14.3	12.5	10.4	8.6	7.5	8.0	9.6	11.6	13.7	15.5	16.5
50	15.7	14.2	12.4	10.5	8.8	7.9	8.3	9.7	11.7	13.6	15.3	16.1
48	15.4	14.0	12.4	10.6	9.0	8.2	8.5	9.9	11.7	13.4	15.0	15.8
46	15.2	13.9	12.4	10.7	9.2	8.5	8.8	10.0	11.7	13.3	14.8	15.5
44	14.9	13.7	12.4	10.8	9.4	8.7	9.0	10.2	11.7	13.3	14.6	15.3
42	14.7	13.6	12.3	10.8	9.6	9.0	9.2	10.3	11.7	13.2	14.4	15.0

40	14.5	13.5	12.3	10.9	9.8	9.2	9.4	10.4	11.8	13.1	14.3	14.8
38	14.4	13.4	12.3	11.0	9.9	9.4	9.6	10.5	11.8	13.0	14.1	14.6
36	14.2	13.3	12.3	11.1	10.1	9.6	9.8	10.6	11.8	12.9	13.9	14.4
34	14.0	13.2	12.2	11.1	10.2	9.7	9.9	10.7	11.8	12.9	13.8	14.3
32	13.9	13.1	12.2	11.2	10.4	9.9	10.1	10.8	11.8	12.8	13.7	14.1
30	13.7	13.0	12.2	11.3	10.5	10.1	10.2	10.9	11.8	12.7	13.5	13.9
28	13.6	13.0	12.2	11.3	10.6	10.2	10.4	11.0	11.8	12.7	13.4	13.8
26	13.5	12.9	12.2	11.4	10.7	10.4	10.5	11.1	11.9	12.6	13.3	13.6
24	13.3	12.8	12.2	11.4	10.8	10.5	10.7	11.2	11.9	12.6	13.2	13.5
22	13.2	12.7	12.1	11.5	10.9	10.7	10.8	11.2	11.9	12.5	13.1	13.3
20	13.1	12.7	12.1	11.5	11.1	10.8	10.9	11.3	11.9	12.5	13.0	13.2
18	13.0	12.6	12.1	11.6	11.2	10.9	11.0	11.4	11.9	12.4	12.9	13.1
16	12.9	12.5	12.1	11.6	11.3	11.1	11.1	11.5	11.9	12.4	12.8	12.9
14	12.7	12.4	12.1	11.7	11.4	11.2	11.2	11.5	11.9	12.3	12.7	12.8
12	12.6	12.4	12.1	11.7	11.4	11.3	11.4	11.6	11.9	12.3	12.6	12.7
10	12.5	12.3	12.1	11.8	11.5	11.4	11.5	11.7	11.9	12.2	12.5	12.6
8	12.4	12.3	12.1	11.8	11.6	11.5	11.6	11.7	12.0	12.2	12.4	12.5
6	12.3	12.2	12.0	11.9	11.7	11.7	11.7	11.8	12.0	12.1	12.3	12.3
4	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8	11.8	11.9	12.0	12.1	12.2	12.2
2	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	11.9	11.9	11.9	12.0	12.0	12.1	12.1
0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0

Fuente: (Allen et al., 2006)

2.1.2.2 Evapotranspiración de cultivo (ET_c)

Hace referencia a la demanda evaporativa de la atmósfera sobre aquellos cultivos que se desarrollan en áreas grandes bajo condiciones óptimas de agua en el suelo, con propiedades adecuadas tanto ambientales como de manejo, que repercuten en una producción total, ecuación 13 (Allen et al., 2006).

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración de cultivo (mm/mes).

K_c = Coeficiente de cultivo (adimensional).

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/mes).

2.1.2.2.1 Coeficiente de cultivo

Integra los efectos de las características tanto físicas y fisiológicas que distinguen a un cultivo de referencia, el mismo que tiene una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo, de un cultivo tradicional de una zona (Allen et

al., 2006). Constituye un factor muy importante empleado para la programación de riego y la asignación del agua (Kang, Gu, Du, & Zhang, 2003).

La FAO (2006), recomienda dos tipos de procedimiento para la determinación del coeficiente de cultivo; el procedimiento del coeficiente único del cultivo que se utiliza para aplicaciones relacionadas con la planificación del riego, diseño y manejo. En tanto que el procedimiento dual del cultivo se lo emplea con frecuencia en cálculos donde se necesitan estimaciones detalladas de evaporación de modelos de calidad del agua, en proyectos investigativos, programación básica del riego y en gestión del riego en tiempo real.

2.1.2.2.2 Curva del coeficiente de cultivo

Para estimar los valores de k_c para diferentes temporadas de crecimiento, es preciso definir la duración de cada una de las fases de cultivo: inicial, desarrollo, media y final y para éstas los coeficientes de cultivo correspondientes, que normalmente se encuentran en tablas pero pueden ser ajustados en función de los datos del lugar del proyecto (Allen et al., 2006).

Para construir la curva de un cultivo anual se sigue el procedimiento detallado a continuación:

- Se divide el ciclo de cultivo en las cuatro fases, expresadas en días: inicial, desarrollo, media y final.
- Se definen los 3 valores del coeficiente de cultivo, $K_{c\text{ ini}}$, $K_{c\text{ med}}$ y $K_{c\text{ final}}$.
- Una vez que se cuenta con la duración de las fases del cultivo y los valores de K_c , se puede dibujar la curva. Para las fases inicial y media se dibujan líneas horizontales con los valores de $K_{c\text{ ini}}$ y $K_{c\text{ med}}$, para la fase de desarrollo se dibuja una diagonal ascendente desde $K_{c\text{ ini}}$ hasta $K_{c\text{ med}}$ y para la fase final una diagonal descendente desde $K_{c\text{ med}}$ hasta $K_{c\text{ final}}$.
- Si las fases de cultivo para ajustarlas de mejor manera han sido divididas en décadas (períodos de diez días), los valores de K_c correspondientes serán estimados gráficamente (Carrazón, 2007).

2.1.3 Necesidades netas de riego

Hacen referencia a la cantidad de agua necesaria para lograr que el cultivo crezca y se desarrolle al máximo ritmo posible con el objetivo de evitar el estrés hídrico, ecuación 14. En ocasiones es el agua que se aplica directamente en el diseño de un sistema, sin embargo, es común dar preferencia a un riego controlado, en el cual se evalúa al cultivo en función de sus fases de crecimiento (Carrazón, 2007).

$$N_n = ET_c - P_e \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

N_n = Necesidades netas de riego (mm/mes).

ET_c = Evapotranspiración de cultivo (mm/mes).

P_e = Precipitación efectiva (mm/mes).

2.1.4 Parámetros de riego

2.1.4.1 Agua utilizable por los cultivos

Es el agua potencialmente extraíble por los cultivos, para su determinación se requiere conocer básicamente el contenido de agua que un suelo puede retener luego de haber sido plenamente humedecido y el contenido de agua en el suelo a partir del cual los cultivos dejan de extraer agua y presentan síntomas de marchitez parcial o total, ecuación 15 (Gil, 2010).

$$AU = 10 * (CC - PMP) * d_a * p_r \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde:

AU = Agua utilizable por un cultivo (mm).

CC = Capacidad de campo (% θ g).

PMP = Punto de marchitez permanente (% θ g).

d_a = Densidad aparente (g/cm^3).

p_r = Profundidad radicular efectiva de los cultivos (m).

2.1.4.2 Dosis neta de riego

Carrazón (2007), manifiesta que existe un nivel de humedad del suelo a partir del cual las raíces de los cultivos presentan dificultades para extraer agua, a pesar del esfuerzo

de succión que deben desarrollar, denominado déficit permisible de manejo (DPM) y comúnmente se representa como la fracción media del AU disponible. El producto del DPM por el AU se conoce como dosis neta de riego (D_n), ecuación 16.

$$D_n = \frac{DPM * AU}{100} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

D_n = Dosis neta de riego (mm).

DPM = Déficit permisible de manejo (%).

AU = Agua utilizable por un cultivo (mm).

2.1.4.3 Intervalo máximo entre riegos

Se refiere al tiempo máximo que se puede dejar entre riegos consecutivos, procurando que el déficit de humedad no sea inferior al déficit permisible de manejo, ecuación 17 (Carrazón, 2007).

$$I_M = D_n / N_n \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

I_M = Intervalo máximo entre riegos (días).

D_n = Dosis neta de riego (mm).

N_n = Necesidades netas de riego (mm/día).

Este valor puede ser disminuido en función del número de regantes que se pretende suministrar de riego y del tipo de cultivo, puesto que existen algunos que necesitan ser regados con mayor frecuencia como es el caso de las hortalizas.

2.1.4.4 Dosis neta ajustada

En el caso de haber ajustado el intervalo entre riegos según la conveniencia del proyecto es preciso volver a calcular la dosis neta de riego, ecuación 18.

$$D_{n\ aj} = I * N_n \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

$D_{n\ aj}$ = Dosis neta ajustada (mm).

I = Intervalo entre riegos.

N_n = Necesidades netas de riego (mm/día).

2.1.4.5 Dosis bruta de riego

Se determina mediante la ecuación 19 y depende del método de riego seleccionado.

$$D_b = \frac{100 * D_{n\ aj}}{E_a} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:

D_b = Dosis bruta de riego (mm).

$D_{n\ aj}$ = Dosis neta ajustada (mm).

E_a = Eficiencia del sistema de aplicación (%).

En la tabla 2.2 se muestran los valores correspondientes de eficiencia en función del método de riego.

Tabla 2.2 Eficiencias de riego estimadas en función del método de riego.

Método de Riego	% Eficiencia
Gravedad	45 – 65
Aspersión	75 – 80
Goteo	85 – 90

Fuente: (Valverde, 1998)

2.1.4.6 Tiempo mínimo de aplicación

En el caso de riego por aspersión es básicamente el tiempo que debe estar funcionando cada aspersor con el objetivo de aplicar la dosis bruta de riego. Este tiempo depende de dos factores importantes, expresados en la ecuación 20:

- Pendiente del terreno
- Tasa de infiltración básica del suelo.

$$t_{a\ min} = \frac{100 * D_b}{I_b * f_p} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

$t_{a\ min}$ = Tiempo mínimo de aplicación (h).

D_b = Dosis bruta de riego (mm).

I_b = Tasa de infiltración básica del suelo (mm/h).

f_p = Factor de reducción por pendiente (%).

En la tabla 2.3 Se muestran los valores de los factores de reducción en base a las pendientes del terreno.

Tabla 2.3 Valores del factor de reducción por la pendiente.

Pendiente	Fp
0 – 8%	100%
9 – 20%	80%
> 20%	60%

Fuente: (Carrazón, 2007)

2.1.4.7 Necesidades brutas de riego

Es el volumen adicional de agua requerido para que las plantas que menor cantidad de agua reciben debido a la falta de uniformidad del sistema de riego cubran sus necesidades netas, ecuación 21 (Cadahía, 2005).

$$N_b = \frac{100 * N_n}{E_a} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

N_b = Necesidades brutas de riego (mm/día).

N_n = Necesidades netas de riego (mm/día).

E_a = Eficiencia del sistema de aplicación (%).

2.1.5 Caudal necesario

Cantidad de agua mínima para regar una superficie dada, determinado mediante la ecuación 22. Este parámetro depende del número de horas de riego disponibles, generalmente se suele tomar el valor de 21 horas, considerando 3 horas invertidas en reparaciones por daños en el sistema, cambios de turno entre otros.

En ocasiones se puede utilizar el valor máximo de 24 horas siempre y cuando se presenten las siguientes condiciones:

- Que las 21 horas adoptadas inicialmente ocasionen disminuciones en la superficie de riego.
- Si el presupuesto con el que cuenta el proyecto permite la construcción de un sistema de almacenamiento.
- Se disponga de un sistema de almacenamiento existente (Carrazón, 2007).

En este caso, el proyecto no dispone de un espacio destinado para la construcción de un sistema de almacenamiento, por ese motivo se considera 21 horas como tiempo de operación del sistema.

$$Q_m = \frac{N_b * S}{3600 * t_{os}} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Donde:

Q_m = Caudal mínimo (l/s).

N_b = Necesidades brutas de riego (mm/día).

S = Superficie regable (m^2).

t_{os} = tiempo de operación del sistema (h).

2.1.6 Riego por aspersión

Es un método que aplicado a los cultivos suministra una lluvia artificial, puede controlarse tanto en tiempo como en intensidad a través de tuberías, bombas, aspersores, entre otros equipos complementarios (Vivar, 1995).

Este tipo de sistema ofrece una alta eficiencia en el uso del agua y es apto para todos los cultivos (Fuentes, 1996). Se recomienda utilizarlo en suelos con pendiente pronunciada, como es el caso de la zona en estudio. Además, presenta ciertas ventajas entre ellas:

- La eficiencia en el uso del agua está entre el 80 y 85%, lo que economiza el agua.
- Tiene buena uniformidad en la aplicación del agua.
- No requiere la construcción de canales de riego, evitando de esta manera la pérdida por conducción.
- El diseño del sistema se ajusta de acuerdo a la disponibilidad del agua.
- Se evita la formación de lodos y erosión del suelo.
- No utiliza mucha mano de obra para la operación (Subirós, 1995).
- La velocidad de infiltración es mayor que la tasa con la que se aplica el agua, evitando pérdida por escorrentía (Carrazón, 2007).

2.1.6.1 Componentes de un sistema

Según Vivar (1995), las partes principales de un equipo de riego por aspersión son las siguientes:

- Grupo de Bombeo
- Tuberías Principales (conducción o transporte)
- Tuberías Secundarias (distribución)
- Aspersores
- Instalaciones complementarias
- Elementos auxiliares

2.1.6.2 Clasificación de los sistemas de aspersión

Se clasifican en función de la movilidad de los elementos que componen el sistema, de esta manera facilita la comprensión de su funcionamiento y da una idea de la inversión necesaria.

Estacionarios:

- Móviles
- Semifijos: tubería móvil, tubería fija.
- Fijos: permanente (cobertura total enterrada), temporal (cobertura total aérea).

Desplazamiento continuo

- Alas desplazables: pivot, lateral de avance frontal, ala sobre carro.
- Aspersor gigante: cañones viajeros, enrolladores (Tarjuelo, 1991).

2.1.6.3 Selección del aspersor

Según la presión disponible cada aspersor tiene un rango de funcionamiento óptimo, pudiendo rendir un caudal y alcance diferente. Un aspersor pequeño funcionará mejor con presiones entre 15 y 30 metros de columna de agua (mca), mientras que los de mayor tamaño están diseñados para funcionar óptimamente entre 25 y 70 mca de presión (Carrazón, 2007).

Es importante considerar que los aspersores tienen un tiempo de vida útil, y que al cabo de ese tiempo deberán reemplazarse. Se recomienda que los aspersores utilizados

sean de buena calidad, de esta manera se disminuirán las pérdidas en el rendimiento de los cultivos ocasionadas por la falta de uniformidad del riego.

2.1.6.3.1 Procedimiento de selección

- a. Elegir marcas y boquillas disponibles.
- b. Verificar presión disponible en el sistema.
- c. El número de aspersores utilizados que funcionen simultáneamente deberán sumar en conjunto un caudal aproximado al caudal disponible, ecuación 23.

$$n_{asp} = \frac{Q}{q_{asp}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde:

n_{asp} = Números de aspersores.

Q = Caudal disponible (l/s).

q_{asp} = Caudal de funcionamiento del aspersor (l/s).

El déficit de caudal, expresado mediante la ecuación 24, no deberá ser menor de un 5%.

$$déficit (\%) = \frac{n_{asp} * q_{asp} - Q}{Q} * 100 \quad (\text{Ecuación 24})$$

- d. Con la finalidad de que la cantidad de agua con la que se riega una parcela sea uniforme, es preciso que los aspersores se traslapen. Su separación está definida por la ecuación 25.

$$s (m) \leq 0.6 * D_h \quad (\text{Ecuación 25})$$

Donde:

s = Separación entre aspersores (m).

D_h = Diámetro húmedo de los aspersores (m).

- e. Pluviometría de un aspersor: hace referencia a la tasa de precipitación generada por los aspersores, ecuación 26 (Valverde, 1998).

$$Pluv_{asp} = \frac{q_{asp} * 3600}{s^2} \quad (\text{Ecuación 26})$$

Donde:

$Pluv_{asp}$ = Pluviometría del aspersor (mm/h).

q_{asp} = Caudal de funcionamiento del aspersor (l/s).

s = Separación entre aspersores (m).

La pluviometría no deberá ser mayor al producto de la infiltración básica del suelo y el factor de reducción por la pendiente, ecuación 27.

$$Pluv_M = I_b * \frac{f_p}{100} \quad (\text{Ecuación 27})$$

Donde:

$Pluv_M$ = Pluviometría máxima (mm/h).

I_b = Infiltración básica (mm/h).

f_p = Factor de reducción por la pendiente (%).

2.1.6.3.2 Tiempo de aplicación

En ningún caso debería ser superior al tiempo de operación del sistema, ecuación 28.

$$t_a = \frac{D_b}{Pluv_{asp}} \quad (\text{Ecuación 28})$$

Donde:

t_a = Tiempo de aplicación (h).

D_b = Dosis bruta (mm).

$Pluv_{asp}$ = Pluviometría del aspersor (mm/h).

2.1.6.3.3 Superficie regada por postura

Es la superficie que se logra regar cuando funcionan simultáneamente todos los aspersores, ecuación 29 (Carrazón, 2007).

$$S_{post} = n_{asp} * s^2 \quad (\text{Ecuación 29})$$

Donde:

S_{post} = Superficie regada por postura (m²).

n_{asp} = Número de aspersores.

s = Separación entre aspersores (m).

2.1.6.3.4 Número de posiciones por día

Se determina mediante la ecuación 30.

$$n_{post} = \frac{t_{os}}{t_a} \quad (\text{Ecuación 30})$$

Donde:

n_{post} = Número de posiciones por día.

t_{os} = Tiempo de operación del sistema (h).

t_a = Tiempo de aplicación (h).

2.1.6.3.5 Superficie regada por día

Se determina mediante la ecuación 31.

$$S_d = S_{post} * n_{post} \quad (\text{Ecuación 31})$$

Donde:

S_d = Superficie regada por día (m^2).

S_{post} = Superficie regada por postura (m^2).

n_{post} = Número de posturas.

2.2 Diseño hidráulico

El diseño hidráulico de un sistema de riego considera datos estructurales, datos físicos y las leyes de comportamiento, con el objetivo de determinar entre otros, los caudales de los bajantes enmarcados dentro de una tolerancia preestablecida, caudales en las tuberías de conducción y distribución y el régimen de presiones (Dean, Maglione, & Pianucci, 2010).

2.2.1 Definiciones generales

Captación: Recolección de aguas superficiales, constituye el inicio del proceso de abastecimiento hídrico, destinado para diversos fines.

Líneas de conducción: Tramos de tubería que transportan el agua siguiendo la topografía del terreno y trabajan a presión.

Tubería primaria: Parte desde la captación y llega a todos los módulos de riego.

Tubería secundaria: Parte de la tubería principal y conduce el caudal a uno solo de los módulos de riego.

Tubería terciaria: Es aquella que llega directamente a los laterales de riego.

Laterales de riego: Son las tuberías de último orden, en ellas se conectan los emisores finales de riego.

Emisor de riego: Componente principal que determina en mayor parte la capacidad y el funcionamiento del sistema de riego, se emplea para disipar la presión del agua en la tubería y descargarla con un caudal determinado (Ruiz & Molina, 2010).

2.2.2 Hidrostática

Es el estudio de los fluidos en equilibrio o reposo, la superficie se considera horizontal, equipotencial dentro de un campo gravitatorio.

Presión estática: Se conoce como la fuerza que ejerce un fluido (contenido en un recipiente) sobre cualquier objeto que esté en contacto con el fluido, dependerá de la altura a la que se encuentra de la superficie libre (Afif, 2004).

En el caso del sistema de riego, se alcanzaría un equilibrio estático cuando el agua no se encuentre fluyendo, debido a que las llaves estén cerradas.

Criterios por los que es importante la presión estática:

- En dependencia de la presión estática presente en un punto, la tubería o manguera en ese punto debería aumentar o reducir su espesor, brindando mayor o menor resistencia a la presión.
- Representa la energía máxima disponible en el sistema para transportar el agua hacia un determinado punto.

Es preciso mencionar que el nivel estático en un sistema a presión se mantiene constante, siempre y cuando el agua no entre en contacto con la atmósfera. Cuando el agua localiza una superficie libre, la presión estática pasa a ser cero y a partir de esta nueva superficie se generará un nuevo nivel estático (Carrazón, 2007).

2.2.3 Hidrodinámica

Componente de la mecánica de fluidos encargado del estudio de los fluidos en movimiento, mismo que puede ser descrito totalmente cuando se conoce la velocidad en el espacio de cada una de sus partículas en todo momento (Díaz, 2006).

Presión dinámica: Altura de las columnas de agua en movimiento, la presencia de valores negativos indica que el flujo de agua se ha detenido. Ésta se calculará como la diferencia entre la presión estática y las pérdidas de carga.

Línea piezométrica o línea de gradiente hidráulico: Línea imaginaria que une los puntos donde llegarían las columnas de agua, varía según el diámetro de la tubería, la velocidad del agua y el caudal que circula.

Cota geométrica: Coordenada z, obtenida del estudio topográfico.

Cota piezométrica: Suma de la cota geométrica más la presión dinámica (Carrazón, 2007).

Gradiente hidráulico (i)

Definido a través de la ecuación 32.

$$i = \frac{C_i - C_f}{D} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Donde:

C_i = Cota inicial de un tramo de tubería (m.s.n.m.).

C_f = Cota final de un tramo de tubería (m.s.n.m.).

D = Distancia del tramo de la tubería (m).

2.2.4 Parámetros de la línea de conducción

Se recomienda que en lo posible las líneas de conducción sigan el perfil del terreno y se ubiquen de tal manera que faciliten su inspección, pueden ser diseñadas para trabajar por gravedad o bombeo.

2.2.4.1 Caudal

Es el flujo que ingresa a la tubería principal, obtenido a partir del diseño agronómico (Dean et al., 2010). Básicamente esta descarga total requerida para el sistema de riego, depende de la superficie a regar, de la necesidad de riego o dosis de riego y del tiempo de operación del sistema.

2.2.4.2 Pérdidas de carga

2.2.4.2.1 Pérdidas de carga singulares debido a las estructuras

Se producen en las estructuras como pozos de revisión, en las válvulas, en los cambios de alineación y de la sección de las tuberías (Brière, 2005). Su valor puede despreciarse en aquellos casos en donde la tubería entre puntos singulares tenga una longitud mayor a 1000 veces el valor del diámetro (Carrazón, 2007).

2.2.4.2.2 Pérdidas de carga por fricción

Son producto de la fricción existente con tuberías y mangueras, es uno de los parámetros más importantes que se necesitan tener en cuenta durante la estimación de las tuberías de conducción y distribución (Brière, 2005).

Número de Reynolds

Se ha demostrado de forma experimental y verificado de forma analítica, que el carácter del flujo en tubos redondos depende de: la velocidad promedio del flujo, su densidad, su viscosidad y el diámetro del tubo. Como consecuencia se ha demostrado que si se conoce la magnitud de un número adimensional conocido como número de Reynolds es posible pronosticar el flujo laminar o turbulento.

Los números de Reynolds grandes, son debido a flujos con velocidades elevadas y viscosidad baja, tendiendo a ser turbulentos. Mientras que números de Reynolds bajos, se presentan por fluidos con velocidades bajas y viscosidad alta, comportándose en forma laminar (Mott, 2006).

La ecuación 33, permite determinar el valor del número de Reynolds (Carrazón, 2007).

$$R_e = \frac{4*Q}{\pi*D*v} \quad (\text{Ecuación 33})$$

Donde:

R_e = Número de Reynolds (adimensional).

Q = Caudal (m^3).

D = Diámetro interior (m).

v = Viscosidad cinemática del agua ($1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) a 20°C .

Fórmula de Darcy-Weisbach

La ecuación de Darcy se emplea para calcular la pérdida de energía provocada por la fricción en secciones rectilíneas y largas de tubos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento, ecuación 34. Cada flujo se diferencia en la evaluación del factor de fricción f (Mott, 2006).

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g} \quad (\text{Ecuación 34})$$

Donde:

h_L = Pérdida de carga por fricción (mca).

f = Factor de fricción (adimensional).

L = Longitud de la tubería (m).

D = Diámetro de la tubería (m).

v = Velocidad promedio del flujo (m/s).

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2).

El factor de fricción f se calcula de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Para $Re \leq 2000$, en un régimen laminar, a través de la ecuación 35:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ecuación 35})$$

- Para $Re \geq 2000$, en un régimen crítico o turbulento, a través de la ecuación 36:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} + \frac{k}{3.71 * D} \right) \quad (\text{Ecuación 36})$$

Donde:

f = Factor de fricción (adimensional).

Re = Número de Reynolds (adimensional).

k = Coeficiente de rugosidad de la tubería (mm).

D = Diámetro interior de la tubería (mm).

En la tabla 2.4 se muestran valores del coeficiente de rugosidad en función del material y estado de la tubería.

Tabla 2.4 Coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach en función del material y estado de la tubería.

Material y estado de la tubería	k (mm)
Tuberías de plástico:	
• Polietileno (PE)	0.002
• PVC	0.02
Tuberías metálicas:	
Acero o hierro galvanizado:	
• Nuevas, buena galvanización	0.07 - 0.10
• Galvanización ordinaria	0.10 - 0.15
Fundición:	
Nuevas	0.25 - 1.0
• Nuevas con revestimiento bituminoso	0.10 - 0.15
• Asfaltadas	0.12 - 0.30
• Después de varios años en servicio	1.0 - 4.0
Hormigón y fibrocemento:	
Hormigón:	
• Superficie muy lisa	0.3 - 0.8
• Condiciones medias	2.5
• Superficie rugosa	3.0 - 9.0
• Hormigón armado	2.5
Fibrocemento	
• Nuevas	0.05 - 0.10
• Después de varios años de uso	0.6

Fuente: (Carrazón, 2007)

Fórmula de Hazen-Williams

Fórmula empírica comúnmente utilizada, para el cálculo de las pérdidas por fricción, ecuación 37.

$$h_f = 10.67 \frac{L * Q^{1.85}}{C^{1.85} * D^{4.87}} \quad (\text{Ecuación 37})$$

Donde:

h_f = Pérdida de carga por fricción (m/m).

L = Longitud de la tubería (m).

C = Coeficiente de Hazen-Williams (adimensional).

Q = Caudal requerido en la tubería (m³/s).

D_i = Diámetro interior de la tubería (m).

En la tabla 2.5 se presentan los valores que adapta el coeficiente de Hazen-Williams en función del material de la tubería.

Tabla 2.5 Coeficiente de Hazen-Williams (C).

Material	Coeficiente de Hazen-Williams (C)
Asbesto-cemento (nuevo)	135
Cobre y latón	130
Ladrillo de saneamiento	100
Hierro fundido, nuevo	130
Concreto, acabado liso	130
Concreto, acabado común	120
Acero galvanizado (nuevo y usado)	125
PVC y PE	140

Fuente: (Caiza, 2017)

Ecuación de Bernoulli

Expresa el comportamiento de un fluido en movimiento a lo largo de un conducto cerrado manteniendo su energía constante, relaciona los cambios de presión con los cambios en la velocidad y la altura a lo largo de una línea de corriente, ecuación 38 (Cabrera, 2016).

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (\text{Ecuación 38})$$

Donde:

Z = Cota del punto de evaluación (m).

P = Presión (kg/m²).

γ = Peso específico del fluido.

Para el caso del agua:

$$\gamma = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

g = Aceleración de la gravedad:

$$g = 9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

h_f = Pérdida de carga de un punto a otro (m)

2.2.4.3 Velocidad

Para medir este parámetro se utiliza la ecuación 39 de Manning, cuyo objetivo es controlar el flujo en las tuberías (Cabrera, 2016).

$$V = \frac{R^{2/3} S_o^{1/2}}{n} \quad (\text{Ecuación 39})$$

Donde:

V = Velocidad (m/s).

R = Radio hidráulico, ecuación 40.

$$R = \frac{D}{4} \quad (\text{Ecuación 40})$$

D = Diámetro útil de la tubería.

S_o = Pendiente de carga de la línea de alturas piezométricas (m/m), ecuación 41

$$S_o = \frac{h_f}{L} \quad (\text{Ecuación 41})$$

h_f = Pérdida de carga por fricción (m).

L = Longitud de la tubería (m).

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

En la tabla 2.6 se presenta valores de velocidades máximas recomendables para el escurrimiento de agua de acuerdo al tipo de material de la tubería, y sus respectivos coeficientes de rugosidad.

Tabla 2.6 Velocidades máximas permisibles y su correspondiente coeficiente de rugosidad de Manning en función del material de la tubería.

Tubería	Velocidad máxima permisible (m/s)	n Coeficiente de rugosidad de Manning
Concreto simple con diámetro ≤ 0.4 m	3	0.011
Concreto reforzado con diámetro ≥ 0.6 m	3	0.011
Fibro-cemento	5	0.01
Acero galvanizado	5	0.014
Acero sin revestimiento	5	0.014
Acero con revestimiento	5	0.011
Polietileno de alta densidad	5	0.009
PVC (policloruro de vinilo)	5	0.009

Fuente: (Cabrera, 2016)

2.2.5 Estructuras complementarias

Cámaras rompe-presión

Cuando se presenta un fuerte desnivel entre la captación y algunos puntos a lo largo de la línea de conducción, pueden generarse presiones por encima de la máxima que puede soportar la tubería. En este caso es recomendable la construcción de cámaras rompe-presión que permiten disipar la energía y reducir la presión relativa a cero (presión atmosférica), con el objetivo de evitar daños en las tuberías (Quesquén, 2016).

La cámara rompe presión constara de 2 cámaras secas donde se encontrarán las válvulas de entrada y de salida, una cámara húmeda y una tubería de desborde. La altura de la cámara húmeda se determina en función de la carga requerida (H), de manera que el gasto de salida pueda fluir normalmente, y cuyo valor se determina mediante la ecuación 42:

$$H = 1.65 * \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 42})$$

Donde:

H = Carga de agua (m).

V = Velocidad del flujo (m/s), ecuación 43.

$$V = 1.9735 * \frac{Q}{D} \quad (\text{Ecuación 43})$$

g = Aceleración gravitacional

La altura total de la cámara rompe-presión se obtiene a través de la ecuación 44:

$$HT = H + A + B * L \quad (\text{Ecuación 44})$$

Donde:

HT = Altura total de la cámara rompe-presión

H = Carga de agua.

A = Altura mínima de salida mínimo de 10 cm.

B*L = Resguardo a borde libre mínimo de 40 cm.

Para las cámaras secas y húmedas se recomienda una sección mínima interna de 0.60x0.6 m por facilidades constructivas. La tubería de desborde se calcula mediante la ecuación 45:

$$D = 4.63 * \frac{Q^{0.38}}{C^{0.38} * S^{0.21}} \quad (\text{Ecuación 45})$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería (pulg).

Q= Caudal (l/s).

C= Coeficiente de rugosidad = 150.

S= Pérdida de carga unitaria (m/m), se considera = 0.010.

2.2.6 Elementos especiales de una instalación

2.2.6.1 Tubería

Conformada por una sucesión de elementos de sección circular y piezas especiales formando un conducto cerrado. Si no presenta ramificaciones y mantiene un diámetro constante se denomina tubería simple (Martínez, 1993).

Ventajas

- Conduce el agua directamente hacia los puntos de aplicación.
- No se producen pérdidas de agua.
- Debido a que va enterrada no dificulta las operaciones de maquinaria ni interrumpe el tránsito vehicular.
- Bajo costo de mantenimiento (Ramos & Báez, 2013).

Según Martínez (1993), las tuberías más utilizadas en sistemas de riego son las siguientes:

2.2.6.1.1 Tuberías de fibrocemento

Se obtienen a partir de una mezcla homogénea de fibras de amianto, cemento y agua. Finalizado el proceso de fabricación adquieren un endurecimiento que les permite soportar una presión de prueba doble de la de servicio, figura 2.1.



Figura 2.1 Tuberías de fibrocemento.

Fuente: (SPRAYFORM, 2016)

Se clasifican en seis clases específicas de acuerdo a su presión normalizada, tabla 2.7.

Tabla 2.7 Clasificación de las tuberías de fibrocemento.

CLASE	PS (kg/cm ²)	PN (kg/cm ²)	PR (kg/cm ²)
A		5	10
B	5	10	20
C	7.5	15	30
D	10	20	40
E	12.5	25	50
F	15	30	60
PN/PS = 2		PR/PN = 2	

Fuente: (Martínez, 1993)

PS: Presión de servicio.

PN: Presión de prueba en fábrica.

PR: Presión de rotura.

En este tipo de tuberías los diámetros nominales son los diámetros internos. Existe una gran variedad de espesores para cada una las clases de tubería, ver tabla 2.8.

Tabla 2.8 Espesor de la pared de las tuberías de fibrocemento.

D(mm)	Espesor en mm para diferentes clases de tubos					
	A	B	C	D	E	F
50	-	8	8	8	8	8
60	-	8	8	8	8	8
70	-	8	8	8	9	9
80	-	9	9	9	10	10
100	8	9	9	11	12	12
125	9	9	10	12	15	15
150	10	10	12	14	18	18
175	10	11	14	16	21	21
200	11	12	16	18	24	24
250	11	15	17	21	25	30
300	12	17	20	25	30	36
350	14	19	24	29	35	42
400	16	21	27	34	40	48
450	18	23	30	38	45	54
500	20	25	34	42	50	60
600	22	30	40	50	60	72
700	24	35	-	-	-	-
800	26	40	-	-	-	-
900	28	45	-	-	-	-
1000	30	50	-	-	-	-

Fuente: (Martínez, 1993)

Por lo general se suministran en longitudes relacionadas con los diámetros, tuberías de 50 a 100 mm de diámetro se comercializan en longitudes de 3 m, de 125 a 300 mm en longitudes de 4 m y para tuberías de diámetros mayores a 300 mm en 6 m.

2.2.6.1.2 Tuberías de policloruro de vinilo (PVC)

Se fabrican a partir de resinas de PVC, estabilizantes, lubricantes y colorantes, debiendo estar libres de cargas y plastificantes. Su proceso de fabricación se realiza mediante el sistema de extrusión, en donde la materia prima se calienta a temperaturas cercanas a los 140 °C, figura 2.2.



Figura 2.2 Tuberías de policloruro de vinilo (PVC).
Fuente: (Ramos & Báez, 2013)

Se presentan en una gran variedad de espesores en función del diámetro y presión nominal tabla 2.9.

Tabla 2.9 Espesor de la pared de las tuberías de PVC.

Dn (mm)	Espesor e (mm) para las siguientes presiones nominales en kg/cm ²				
	4	6	10	16	25
6	-	-	-	-	1.0
8	-	-	-	-	1.0
10	-	-	-	1.0	1.2
16	-	-	-	1.2	1.8
20	-	-	-	1.5	2.3
25	-	-	1.5	1.9	2.8
32	-	-	1.8	2.4	3.6
40	-	1.8	2.0	3.0	4.5
50	-	1.8	2.4	3.7	5.6
63	1.8	1.9	3.0	4.7	7.0
75	1.8	2.2	3.6	5.6	-
90	1.8	2.7	4.3	6.7	-

110	2.2	3.2	5.3	8.2	-
125	2.5	3.7	6.0	9.3	-
140	2.8	4.1	6.7	10.4	-
160	3.2	4.7	7.7	11.9	-
180	3.6	5.3	8.6	13.4	-
200	4.0	5.9	9.6	14.8	-
225	4.5	6.6	10.8	16.8	-
250	4.9	7.3	11.9	18.5	-
280	5.5	8.2	13.4	20.8	-
315	6.2	9.2	15.0	23.4	-
355	7.0	10.4	16.9	26.3	-
400	7.9	11.7	19.1	29.7	-
450	8.8	13.1	21.5	33.4	-
500	9.8	14.6	23.9	37.1	-

Fuente: (Martínez, 1993)

Comercialmente para tubos de 16 a 63 mm se suministran en longitudes de 5 m y para tubos de 75 mm en adelante se presentan en longitudes de 6 m, sin embargo, estos parámetros pueden variar según el fabricante.

2.2.6.1.3 Tuberías de polietileno (PE)

El polietileno se obtiene a través de la polimeración del etileno. Los diferentes tipos de polietileno se dan en función de la presión y temperatura del proceso de fabricación. Comercialmente se presenta dos tipos: polietileno de baja densidad (LDPE) de ≤ 0.93 gr/cm³, se obtiene a temperaturas de 250 °C a 300 °C, con presiones de 1000 a 1500 atm; y polietileno alta densidad (HDPE), de > 0.94 gr/cm³ se obtiene a temperaturas más bajas utilizando catalizadores adecuados y a la presión atmosférica, figura 2.3.



Figura 2.3 Tuberías de polietileno (PE).

Fuente: (Ramos & Báez, 2013)

En las tablas 2.10 y 2.11 se presentan los espesores de la pared de las tuberías de baja y alta densidad respectivamente, en función de la presión nominal.

Tabla 2.10 Espesor de pared en tuberías de PE de baja densidad.

Dn (mm)	LPDE espesor (mm)		
	Presión nominal (kg/cm ²)		
	4	6	10
10	-	-	2.0
12	-	-	2.0
16	-	2.0	2.2
20	-	2.0	2.8
25	2.0	2.3	3.5
32	2.0	2.9	4.4
40	2.4	3.7	5.5
50	3.0	4.6	6.9
63	3.8	5.8	8.6
75	4.5	6.8	10.3
90	5.4	8.2	12.3
110	6.6	10.0	15.1
125	7.4	11.4	17.1
140	8.3	12.7	19.2
160	9.5	14.6	21.9
180	10.7	16.4	24.6
200	11.9	18.2	27.3

Fuente:(Martínez, 1993)

Tabla 2.11 Espesor de pared en tuberías de PE de alta densidad.

Dn (mm)	HDPE espesor (mm)		
	Presión nominal (kg/cm ²)		
	4	6	10
10	-	-	2.0
12	-	-	2.0
16	-	-	2.0
20	-	-	2.0
25	-	2.0	2.3
32	-	2.0	2.9
40	2.0	2.4	3.7
50	2.0	3.0	4.6
63	2.4	3.8	5.8
75	2.9	4.5	6.8
90	3.5	5.4	8.2
110	4.2	6.6	10.0
125	4.8	7.4	11.4
140	5.4	8.3	12.7
160	6.2	9.5	14.7
180	6.9	10.7	16.4
200	7.7	11.9	18.2

Fuente: (Martínez, 1993)

Los dos tipos de polietileno se presentan en una gran variedad de diámetros. Los tubos de LDPE, se suministran en rollos de 200m, para diámetros de hasta 16mm-, en rollos de 100 m para diámetros de hasta 40 mm y rollos de 50 m en diámetros de hasta 63 mm. Por su parte, los tubos de HDPE se comercializan en rollos de 50 m, para diámetros de 63 mm a 75 mm y para todos los diámetros en unidades de 6 a 8 m.

2.2.6.2 Válvulas

Acedo (2003), manifiesta que la productividad de todo proyecto aumenta por medio de la optimización, en donde el proceso en cuestión se adapta a condiciones cambiantes. En consecuencia, las propiedades a controlar no se mantienen constantes. En el caso de los sistemas de riego a presión es importante que la válvula de control funcione de manera estable y mantenga un buen comportamiento, de manera que:

- Sea estable a lo largo del recorrido.
- No opere sobre los límites extremos.
- Sea lo suficientemente rápida para corregir perturbaciones.

De acuerdo a su finalidad existe una gran diversidad de válvulas entre ellas, Ramos & Báez (2013), mencionan las siguientes:

2.2.6.2.1 Válvulas check

También denominadas de retención o antirretorno, tienen el objetivo de evitar la descarga del agua en dirección a la bomba, evitando daños debido a la rotación inversa de la bomba, además impide el vaciado de la tubería permitiendo que la operación del sistema sea más rápida y segura. Este tipo de válvulas operan de manera automática por la acción de las presiones en los dos sentidos permitiendo el cierre y apertura, figura 2.4.

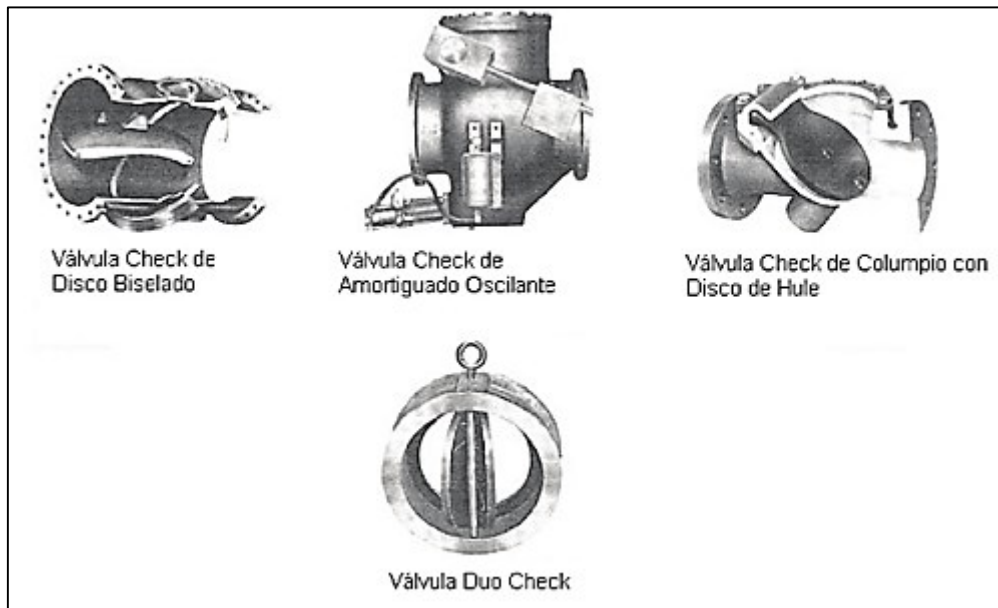


Figura 2.4 Tipos de válvulas check.

Fuente: (American Water Works Association, 2005)

Entre los principales tipos válvulas check se tienen:

- **Válvula check tipo columpio:** Diseñada para instalaciones horizontales, pueden instalarse de forma vertical siempre y cuando el flujo sea ascendente.
- **Válvula check de disco basculante oblicuo:** Válvula de retención muy versátil, una de sus principales aplicaciones es la protección de la bomba debido su rapidez de cierre. No se recomienda su uso si existe la presencia de sólidos suspendidos.
- **Válvula check oscilante:** Elimina la necesidad de emplear costosos soportes en tuberías, es ligera y compacta, de fácil instalación. Requiere de una presión mínima para su operación.

2.2.6.2.2 Válvulas de pie

Tienen el objetivo de mantener la línea de succión cerrada cuando la bomba está sobre el nivel del agua, evitando que se ocasionen daños en la bomba, por lo general la entrada está protegida por un filtro para impedir el ingreso de elementos extraños presentes en el agua.

En función del dispositivo de cierre existe tres tipos fundamentales de válvulas de pie, figura 2.5.

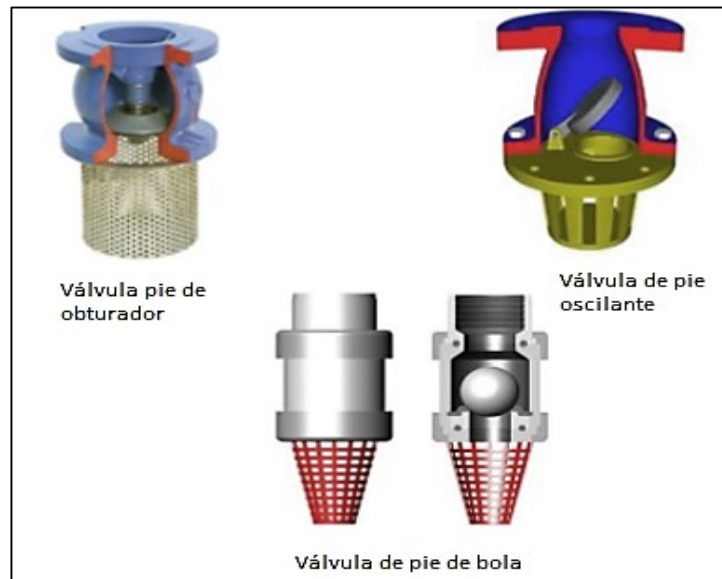


Figura 2.5 Tipos de válvulas de pie.
Fuente: (Ramos & Báez, 2013)

- **Válvula de pie de obturador:** Actúa por acción de la fuerza de la presión negativa y la presión de la columna del líquido cuando se detiene.
- **Válvula de pie oscilante:** Su diseño es similar a las válvulas check oscilantes, con eje totalmente excéntrico, su funcionamiento es parecido a la válvula de pie de obturador.
- **Válvula de pie de bola:** Se utiliza en diámetros de hasta 90 mm, presenta pérdidas similares a las de tipo obturador.

2.2.6.2.3 Válvulas de cierre

Permiten o cierran el paso del agua hacia las tuberías del sistema, son comúnmente utilizadas en los sistemas de riego, en el mercado existe una gran variedad de modelos en función de los mecanismos de cierre que disponen, entre ellas las que se observan en la figura 2.6.

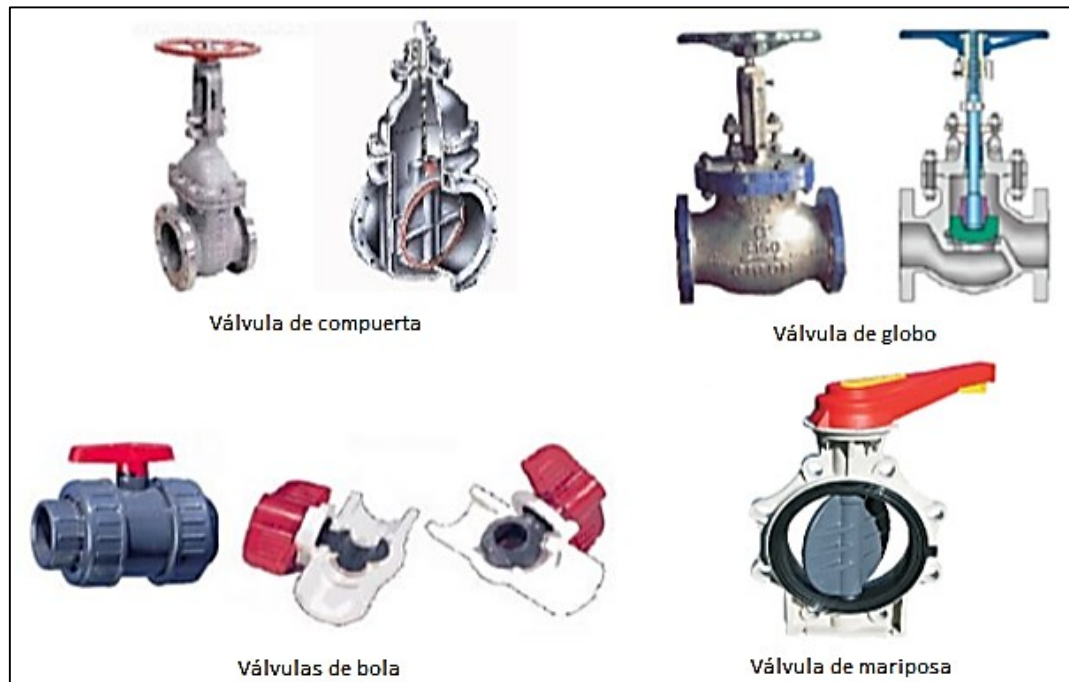


Figura 2.6 Tipos de válvulas de cierre
Fuente: (Ramos & Báez, 2013)

- **Válvulas de compuerta:** El cierre se produce mediante un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre la base. Se comercializan con distintas variables como: cuña maciza, cuña flexible, cuña dividida, disco doble entre otros. Durante la operación del sistema, éste tipo de válvulas deben permanecer totalmente abiertas o cerradas, no se recomienda su uso en la regulación de caudales.
- **Válvulas de globo:** El corte o cierre del paso del fluido se logra mediante un disco o tapón. Su operación puede ser de manera continua para regular o limitar el flujo del agua. Están fabricadas de tal modo que cuando el flujo pasa, se produce un cambio en la dirección, incrementando en forma gradual su resistencia, en función de la posición de cierre. Su uso no es recomendable en diámetros superiores a 300mm, debido al gran esfuerzo que se necesita para operación.
- **Válvulas de bola:** Comúnmente utilizadas en riego localizado, se fabrican en materiales plásticos, resistentes a los químicos y fertilizantes empleados en los cultivos. El mecanismo de cierre consiste en una esfera perforada de diámetro igual al del conducto, la apertura se produce por un giro de 90°, orientando el

orificio en el sentido del conducto y el cierre girando el orificio en forma perpendicular. Algunos modelos tienen la función de unión de cambio, por lo que se utilizan en estaciones de cambio y cabezales de riego.

- **Válvulas mariposa:** Se presentan en una gran variedad de modelos, materiales y en diámetros mayores a 50 mm. El mecanismo de cierre consiste en un disco circular, que gira 90° para abrir o cerrar el paso del fluido. Se acciona mediante una palanca provista de un gatillo para fijarla entre 0° y 90° . Entre algunas de sus ventajas es que permiten usarlas como reguladoras de flujo, con manipulaciones constantes con mínimo desgaste, son ligeras de peso, compactas, presentan un número mínimo de piezas móviles, no presentan bolas ni cavidades que dificulten su limpieza y mantenimiento.

2.2.6.2.4 Válvulas de control

El cierre o apertura se produce por presión hidráulica, a través de un pistón o diafragma que cierra la salida del fluido, cuya regulación se logra al limitar el grado de apertura del pistón, figura 2.7.



Figura 2.7 Válvula de control.
Fuente: (SOTERMIC, 2017)

Éste tipo de válvulas se clasifican según:

Tipo de operación

- Manual
- Eléctrico
- Hidráulico

Estado de apertura

- Abiertas
- Cerradas

Acciones que realizan

- Apertura y cierre
- Reductor de presión
- Sostenedoras de presión
- Limitadora de caudal
- Antirotura o antidrenaje (Ramos & Báez, 2013).

2.2.6.3 Bombas

Constituyen máquinas hidráulicas donde se genera un cambio de momentum angular de un impulsor rotativo por la acción de un motor que impulsa energía mecánica, misma que se convierte en energía hidráulica (Corcho & Duche, 2005). Las bombas se clasifican en categorías de acuerdo a la función que desempeñen. Para el caso de actividades agropecuarias, la bomba comúnmente utilizada es la hidráulica, cuyo principal objetivo es suministrar agua a los cultivos de manera eficiente.

Bombas hidráulicas: Constituyen máquinas que reciben el trabajo mecánico generado por una fuente de accionamiento y lo convierten en energía de presión y velocidad, logrando de esta manera la captación y elevación del agua desde una fuente de abastecimiento y su conducción hasta el lugar de descarga en función de las necesidades y características topográficas del área a ser regada (García, Dias, & Calgaro, 2003).

2.2.6.4 Accesorios

Conjunto de piezas de diversos materiales como: PVC, polietileno, acero, entre otros, que se utilizan para la instalación de tuberías de igual o distinto diámetro, conectar filtros, válvulas, generar derivaciones, etc. (Asociación de Agrónomos Indígenas del Cañar, 2004).

Accesorios de fijación:

A continuación, se detallan los accesorios empleados en las principales tuberías citadas para sistemas de riego.

Para el caso de tuberías de fibrocemento, la unión puede realizarse mediante tres tipos de juntas, como se describe a continuación y se visualiza en la figura 2.8.

- *Junta RK*: Constituida por un manguito de amianto-cemento, gomas de estanqueidad y tacos de goma.
- *Junta RK tracción*: Conformada de varillas de anclaje que se alojan en canales provistos en el manguito y en el tubo, de manera que impiden su separación.
- *Junta supersíplex*: Conformada por un manguito de fibrocemento y dos anillos de estanqueidad de caucho.
- *Junta Gibault*: Dispone de un manguito central y dos bridas laterales de fundición, en donde se alojan aros de caucho de sección circular que forma una junta estanca cuando los bulones son presionados paulatinamente (Martínez, 1993).

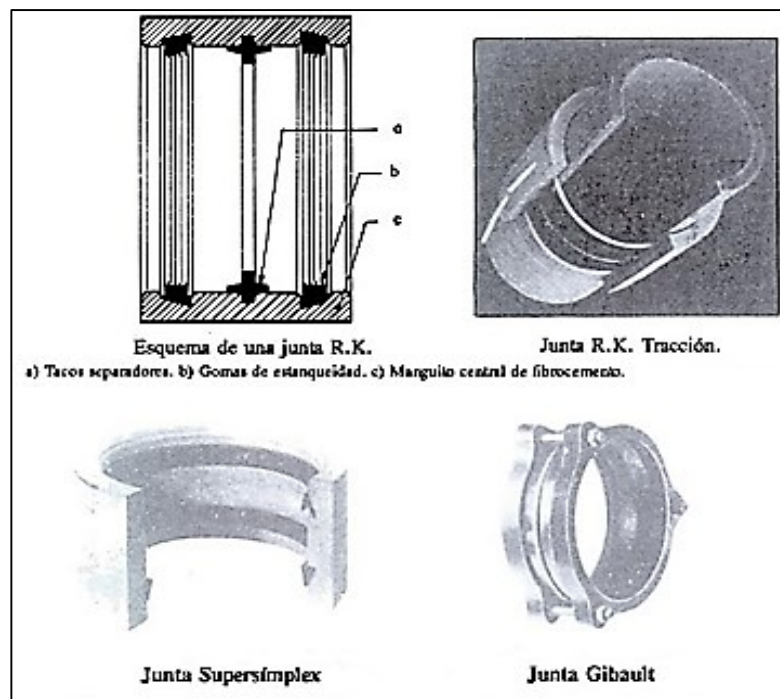


Figura 2.8 Juntas para la unión de tuberías de fibrocemento.
Fuente: (Martínez, 1993)

En el caso de las tuberías de PVC, su conexionado se realiza mediante el encolado con pegamentos especiales de los propios accesorios o a través de accesorios desmontables de PVC o metálicos con juntas de goma. Para su instalación se debe seguir estrictamente las indicaciones de los fabricantes de la tubería, accesorios y del pegamento utilizado. En la figura 2.9 se presentan los accesorios para la unión de tuberías de PVC.



Figura 2.9 Accesorios para unión de tuberías de PVC
Fuente: (López, 2018)

Por su parte las tuberías de polietileno PE, el sistema de conexión se puede realizar mecánicamente, utilizando una gran variedad de accesorios de polietileno o latón, que facilitan el desmontaje, sin embargo, pueden presentarse fugas con el paso del tiempo por lo que se debe poner especial atención en su instalación, las figuras 2.10 y 2.11 muestran los accesorios de polietileno y latón, respectivamente, para unión de tuberías de polietileno.

Enlace	Enlace de reparación	Enlace reducido	Enlace mixto rosca M	Enlace mixto rosca M de latón	Enlace mixto rosca H
					
Enlace mixto rosca H G	Enlace mixto minero Codo de 45°	Tapón	Codo de 90°	Codo de 90° reducido	Codo mixto de 90° rosca M
					
Codo mixto de 90° rosca M de latón	Codo mixto de 90° rosca H	Codo de 45°	Codo mixto de 45° rosca M	Codo mixto de 90° spigot	Codo mixto de 90° mural
					
T igual	T igual de reparación	T igual alargada	T reducida	T mixta con salida rosca M	T mixta reducida con salida rosca H
					
T mixta con salida rosca H	Enlace mixto con derivación de 90° rosca M	T de 45°	Portabrida de compresión (con brida de metal)	Portabrida spigot (con brida de metal)	Brida de metal
					
Adaptador rosca M	Adaptador rosca M de latón	PLA554 - Enlace universal	PLA554 - Codo universal	Y rosca M	Cruz salida rosca H
					

Figura 2.10 Accesorios de polietileno para unión de tuberías de polietileno.
Fuente: (López, 2018)

Codo 90° HH	Codo 90 °C/rosca H	Codo 90 °C/rosca M	T igual HHH	T HHH c/rosca H	Manguito c/rosca M
					
Manguito recto HH	Manguito c/rosca H	Codo placa HH	Codo 90° HH	Codo 90° c/rosca H	Codo 90° c/rosca M
					
T igual HH	T HHH c/rosca H	Manguito c/rosca M	Manguito recto HH	Manguito c/rosca H	
					

Figura 2.11 Accesorios de latón para unión de tuberías de polietileno.
Fuente: (López, 2018)

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO

3.1 Diseño agronómico

3.1.1 Estudios preliminares

3.1.1.1 Delimitación del área de estudio

Con la debida aprobación del convenio por parte de la TUCAYTA para la realización de los estudios de un sistema de riego presurizado para el sector Pungoloma de la comunidad Quilloac del cantón Cañar, provincia de Cañar, se conformó una delegación integrada por dirigentes y moradores del sector, para realizar el reconocimiento y delimitación del área de estudio, como se observa en la figura 3.1.



Figura 3.1 Acompañamiento de dirigentes y moradores del sector Pungoloma durante la delimitación del área de estudio.

Fuente: Autoras

La delimitación del área de estudio se detalla en el anexo 9.

3.1.1.2 Análisis de la calidad de agua

El análisis físico-químico y bacteriológico del agua se llevó a cabo con la finalidad de determinar si el agua destinada a riego cumple con ciertos parámetros establecidos por el Ministerio del Ambiente para uso agrícola. Para el análisis respectivo se tomaron 4

muestras de agua en el lugar de la captación hacia el sector Pungoloma, en fechas diferentes: 2 de ellas se enviaron a los laboratorios del INIAP para realizar el análisis físico-químico, en tanto que las otras 2 muestras fueron enviadas a los laboratorios de Saneamiento de ETAPA con el objetivo de determinar la cantidad de coliformes totales presentes en el agua de riego. La toma de las muestras se observa en las figuras 3.2 y 3.3.



Figura 3.2 Muestreo de agua para el análisis físico-químico.
Fuente: Autoras



Figura 3.3 Muestreo de agua para el análisis bacteriológico.
Fuente: Autoras

El procedimiento de muestreo que se realizó, estuvo basado en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2169, 2013), cuyo procedimiento se detalla a continuación:

- Se ubicó el sitio exacto para el muestreo.

- Las muestras se tomaron en dirección del flujo del agua a una profundidad media, de manera que se evite remover los sedimentos.
- Los envases utilizados para el análisis físico-químico fueron de plástico, bien lavados, de una capacidad de 1000 ml, mientras que para el análisis bacteriológico se utilizaron envases esterilizados de 100 ml; cada uno de ellos correctamente etiquetados.
- Para evitar alteraciones en los resultados, las muestras fueron llevadas a los respectivos laboratorios el mismo día del muestreo.

A continuación, en la tabla 3.1 se muestran los resultados del análisis de agua entregados por el INIAP, en donde se observa que todos los parámetros analizados están dentro del rango permisible establecido por la Institución, definiendo una condición de uso normal, sin restricción alguna, lo que permite la conducción del agua de riego sin la necesidad de realizar el diseño de estructuras de remoción de sólidos.

Tabla 3.1 Resultados del análisis físico-químico del agua de riego.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Rango permisible	Muestra 1	Muestra 2	Riesgo
Conductividad eléctrica del agua	CE	mS/cm	0 - 3	0.1	0.1	N
Total de sólidos disueltos	TSD	mg/l	0 -2000	70	74	N
Calcio	Ca	mg/l	0 - 200	10.5	15.3	N
Magnesio	Mg	mg/l	0 - 61	2	2.9	N
Sodio	Na	mg/l	0 - 69	2.5	5.3	N
Potasio	K	mg/l	0 - 7	0.4	0	N
Carbonato	CO ₃	mg/l	0 - 3	<L.C	<L.C	N
Bicarbonato	HCO ₃	mg/l	0 -180	91.5	97.6	N
Cloro	Cl	mg/l	0 - 540	2.4	1.7	N
Sulfato	SO ₄	mg/l	0 - 960	1	0	N
Hierro	Fe	mg/l	0 - 0	0.23	0.05	N
Potencial de hidrógeno	pH		6 - 8	6.8	7.9	N
Relación de absorción de sodio ajustada	RAS	(meq/s)/2	0 - 6	1.12	1.76	N
Turbidez	Turbidez	U.T.F	5	4	0	

Fuente: (INIAP,2018)

Ver anexo 1. Resultados del análisis físico-químico del agua de riego.

De la misma manera se presentan a continuación los resultados del análisis bacteriológico entregados por el Laboratorio de Saneamiento de ETAPA, los parámetros analizados fueron coliformes totales y coliformes termotolerantes presentes en el agua de riego, tabla 3.2. Los resultados de ambas muestras cumplen con el límite máximo permisible en el parámetro de coliformes totales, contemplado en el Libro VI Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria, en los criterios de calidad admisibles para aguas destinadas a uso agrícola, tabla 1.1 del capítulo 1.

Tabla 3.2 Resultados del análisis bacteriológico del agua de riego.

Parámetro	Unidades	Límite máximo permisible	Canal de riego Muestra 1	Canal de riego Muestra 2
Coliformes totales	NMP/100ml	1000	13	23
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1000	4.5	23

Fuente: (ETAPA, 2018)

Ver anexo 2. Resultados del análisis bacteriológico del agua de riego.

3.1.1.3 Análisis de suelos

Para el análisis se procedió a reconocer el área potencialmente agrícola del sector, identificando los sitios que tengan condiciones semejantes de pendiente, manejo, color, vegetación, entre otros. Reconociendo de esta manera 4 zonas de muestreo como se indica en la siguiente figura 3.4.

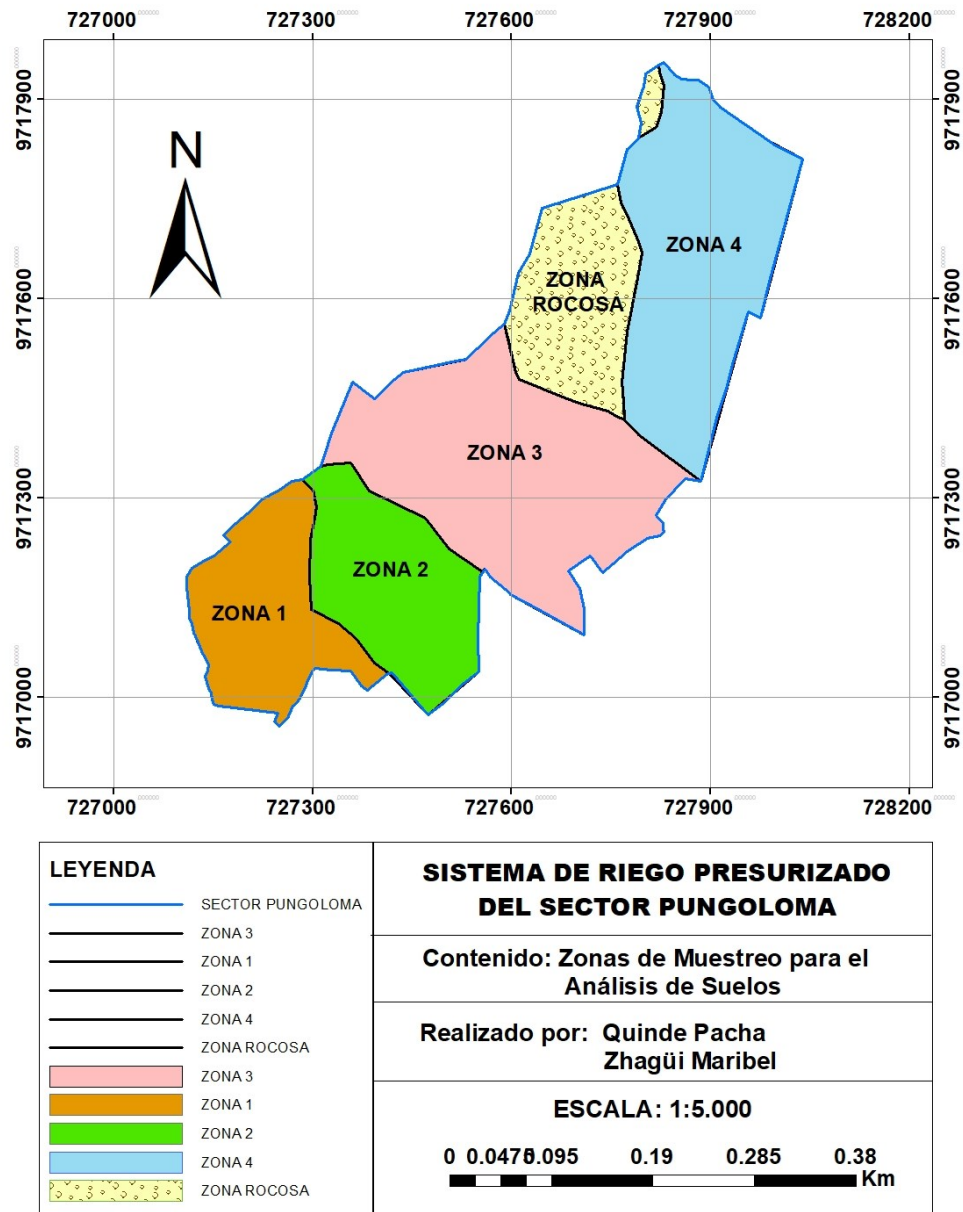


Figura 3.4 Zonas de muestreo para el análisis de suelos.

Fuente: Autoras

El procedimiento de muestreo estuvo basado en el Instructivo para toma de muestra de suelos de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD, 2015).

En el muestreo se consideró los siguientes puntos:

- En cada zona se tomaron de 6 a 7 sub muestras, aproximadamente cada 50 m lineales en zig-zag, figura 3.5.



Figura 3.5 Toma de muestras de suelo.

Fuente: Autoras

- La profundidad de muestreo fue de 20 cm, aconsejable porque coincide con la profundidad de la capa arable o el volumen de suelo donde predominan la mayoría de las raíces.
- Las sub muestras se mezclaron hasta obtener una muestra homogénea.
- Para obtener 1 kilogramo de muestra homogenizada, cantidad requerida en el laboratorio, se realizó un cuarteo, figura 3.6.



Figura 3.6 Cuarteo de la muestra homogenizada, realizado en campo.

Fuente: Autoras

- Cada muestra fue colocada en doble funda plástica.
- Se identificó las muestras claramente con una etiqueta colocada entre las fundas plásticas.

Las muestras se enviaron al laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), llegando a determinar entre otros:

- Textura
- Clase textural
- Capacidad de campo (CC)
- Punto de marchitez permanente (PMP)
- Densidad aparente (DA)

Parámetros necesarios para el diseño agronómico, en el cálculo de las necesidades de riego, cuyos valores se presentan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Análisis de textura del suelo del sector Pungoloma.

Descripción	Textura (%)			Clase Textural	cm ³ /cm ³		gr/cm ³
	Arena	Limo	Arcilla		C.C	P.M.P	D.A
No. 1	48	19	33	Franco-Arcillo-Arenoso	0.29	0.19	1.3
No. 2	56	18	26	Franco-Arcillo-Arenoso	0.26	0.15	1.35
No. 3	50	17	33	Franco-Arcillo-Arenoso	0.29	0.19	1.31
No. 4	46	21	33	Franco-Arcillo-Arenoso	0.3	0.18	1.3
PROMEDIO					0.29	0.18	1.32

Fuente: (INIAP, 2018)

Ver anexo 3: Resultados del análisis de suelos.

3.1.2 Características climáticas

Los datos de precipitación y temperatura han sido extraídos del Anuario del INAMHI, de la Estación Meteorológica Cañar, con código M031, ubicación: Latitud 2°33' S, Longitud 78°56' O, a una altura de 3083 msnm. Los datos corresponden al período 1990-2012, en los años que no existe registro de la Estación de Cañar, se han tomado registros de las estaciones cercanas.

Por su parte los datos faltantes en ciertos meses se han obtenido aplicando el método de los promedios, para ello se trabaja con dos estaciones meteorológicas, una de ellas debe disponer de datos completos, y la otra es la que carece de ciertos datos, mismos

que se completan sobre la base de la estación completa. Este método sostiene que la relación de los promedios de datos, es igual a la relación de datos parciales.

Ver anexo 4: Valores de precipitación anual del catón Cañar, correspondientes al período 1990-2012.

Ver anexo 5: Valores de temperatura anual del cantón Cañar, correspondientes al período 1990-2012.

3.1.2.1 Precipitación

La pluviosidad media anual de la Estación Cañar que tiene influencia directa sobre el sistema de riego es de 561.1 mm/año. Los valores más bajos de precipitación están en los meses de julio y agosto con valores de 19.9 y 16.7 mm respectivamente, mientras que los valores más altos se registran en los meses de marzo y abril con 79.12 y 80.47 mm/mes, como se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Precipitación promedio mensual.

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P prom. mm/mes	48.1	67.8	79.1	80.5	54.5	32	19.9	16.7	25.3	44.4	45.1	47.8	561.1

Fuente: INAMHI

3.1.2.1.1 Precipitación probable

Se ha optado por trabajar con datos de precipitación probable y no promedio, debido a que el clima en la zona de estudio presenta una alta variabilidad a lo largo del año.

En la tabla 3.5 se muestran el índice de precipitación y la probabilidad de ocurrencia de las diferentes precipitaciones anuales durante el período 1990-2012 según el registro del INAMHI.

Tabla 3.5 Valores del índice de precipitación (Ip) y probabilidad de ocurrencia (Pr)

N de orden	Precipitación anual (mm)	Índice de precipitación Ip	Probabilidad de ocurrencia Pr (%)
1	1736.24	3.094	2.2
2	748.89	1.335	6.5
3	718.30	1.280	10.9
4	643.10	1.146	15.2
5	607.50	1.083	19.6
6	601.70	1.072	23.9
7	582.40	1.038	28.3
8	560.40	0.999	32.6
9	554.90	0.989	37.0
10	553.70	0.987	41.3
11	526.50	0.938	45.7
12	509.20	0.907	50.0
13	485.50	0.865	54.3
14	485.50	0.865	58.7
15	470.80	0.839	63.0
16	454.90	0.811	67.4
17	448.00	0.798	71.7
18	440.55	0.785	76.1
19	407.00	0.725	80.4
20	356.80	0.636	84.8
21	343.40	0.612	89.1
22	336.61	0.600	93.5
23	334.51	0.596	97.8

Fuente: Autoras

En función del valor económico de los cultivos se ha obtenido el índice de precipitación correspondiente, ver tabla 3.6.

Tabla 3.6 Índice de precipitación en función del valor económico del cultivo.

VALOR ECONÓMICO	PROB	PREC.PROM ANUAL(mm)	Ip
Poco valor económico	60%	561.15	0.857
Autoconsumo y Renta para el mercado	75%		0.788
Alto valor económico	90%		0.610

Fuente: Autoras

Para determinar el valor económico de los cultivos entre otros parámetros correspondientes al sector en estudio, necesarios para el diseño agronómico del sistema, se realizó una encuesta a los moradores del sector que son usuarios del actual

sistema de riego acerca de: población, uso de suelo, cultivos predominantes, ciclo de producción y aspectos generales de riego.

Ver anexo 6. Modelo de encuesta.

Para el caso del sector Pungoloma, se asumirá una probabilidad del 75%, debido a que de los resultados obtenidos en la encuesta realizada a los usuarios el 52% manifiesta que los cultivos son destinados al autoconsumo y renta para el mercado, figura 3.7.

Ver anexo 7. Resultados de las encuestas.



Figura 3.7 Valor económico de los cultivos en el sector Pungoloma.
Fuente: Autoras

La tabla 3.7 presenta los valores de precipitación probable al 75% de probabilidad.

Tabla 3.7 Precipitación probable mensual al 75%.

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Ppm75% mm/mes	37.9	53.5	62.4	63.4	43.0	25.2	15.7	13.1	20.0	35.0	35.5	37.7

Fuente: Autoras

3.1.2.1.2 Precipitación efectiva

Ha sido determinada en función de los resultados de precipitación probable mensual, en este caso menor a 250 mm, tabla 3.8.

Tabla 3.8 Precipitación efectiva mensual.

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pe mm/mes	35.6	48.9	56.2	57.0	40.1	24.2	15.3	12.9	19.3	33.0	33.5	35.4

Fuente: Autoras

3.1.2.2 Temperatura

La temperatura promedio mensual de acuerdo a los datos obtenidos del INAMHI fluctúa entre los 11 y 12 °C, como se indica en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Temperatura promedio mensual.

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T prom. °C	11.7	11.8	11.8	12.0	12.1	11.9	11.4	11.4	12.0	12.0	11.8	11.7

Fuente: INAMHI

3.1.3 Evapotranspiración Potencial

Se calculó aplicando el método de Thornthwaite con los datos obtenidos de la Estación Meteorológica Cañar M031. La determinación de las horas de sol al día (N) se realizó en función de la ubicación de la Estación, en este caso en el Hemisferio Sur, Latitud 2.55°, y para determinar su valor se interpoló entre una Latitud de 2° y 4°, como se observa en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Número de horas de sol al día.

MES	Grados		
	2.0	2.55	4.0
Enero	12.1	12.13	12.2
Febrero	12.1	12.10	12.1
Marzo	12.0	12.00	12.0
Abril	12.0	11.97	11.9
Mayo	11.9	11.87	11.8
Junio	11.9	11.87	11.8
Julio	11.9	11.87	11.8
Agosto	11.9	11.90	11.9
Septiembre	12.0	12.00	12.0
Octubre	12.0	12.03	12.1
Noviembre	12.1	12.13	12.2
Diciembre	12.1	12.13	12.2

Fuente: Autoras

El valor máximo de evapotranspiración se presenta en el mes de mayo con 1.77 mm/día, seguido de los meses de abril y octubre con un valor de 1.76 mm/día. Mientras

que el valor mínimo se registra en el mes de julio con 1.63 mm/día, como se observa en la tabla 3.11.

Tabla 3.11 Cálculo de la Evapotranspiración potencial.

Mes	Nd (días)	Tm (°C)	Im	e (mm/mes)	N (horas)	L	ETP (mm/mes)	ETP (mm/día)
Ene	31	11.7	3.60	50.98	12.13	1.04	53.24	1.72
Feb	28	11.8	3.65	51.53	12.10	0.94	48.49	1.73
Mar	31	11.8	3.68	51.87	12.00	1.03	53.60	1.73
Abr	30	12.0	3.77	52.86	11.97	1.00	52.74	1.76
May	31	12.1	3.83	53.54	11.87	1.02	54.73	1.77
Jun	30	11.9	3.71	52.21	11.87	0.99	51.65	1.72
Jul	31	11.4	3.47	49.54	11.87	1.02	50.65	1.63
Ago	31	11.4	3.47	49.47	11.90	1.02	50.69	1.64
Sep	30	12.0	3.74	52.52	12.00	1.00	52.52	1.75
Oct	31	12.0	3.76	52.77	12.03	1.04	54.65	1.76
Nov	30	11.8	3.65	51.48	12.13	1.01	52.03	1.73
Dic	31	11.7	3.62	51.23	12.13	1.04	53.50	1.73

Fuente: Autoras.

3.1.4 Características de cultivo

3.1.4.1 Cultivos predominantes

En la tabla 3.12 se muestran los cultivos predominantes de la zona en estudio, información obtenida a partir de las encuestas realizadas a los usuarios del sistema.

Tabla 3.12 Cultivos predominantes en el sector Pungoloma.

Cultivo predominante	Porcentaje
Maíz grano	20.5%
Arveja	2.3%
Quinua	2.3%
Cebada	4.5%
Papa	27.3%
Brócoli	4.5%
Fresa	2.3%
Alfalfa	4.5%
Pasto	31.8%
Total	100%

Fuente: Autoras

3.1.4.2 Período vegetativo

De las encuestas realizadas se determinó también las fechas de siembra y cosecha de los cultivos predominantes en el sector, estableciendo el período vegetativo de cada uno de ellos, tabla 3.13.

Tabla 3.13 Período vegetativo de los cultivos.

Cultivo	Duración de las fases de cultivo						Fecha cosecha
	Inicio (días)	Desarrollo (días)	Medio (días)	Final (días)	Total (días)	Fecha siembra	
Maíz grano	60	70	80	90	300	Octubre	Julio
Arveja verde	40	50	55	35	180	Diciembre	Mayo
Quinoa	30	35	75	40	180	Julio	Diciembre
Cebada	15	45	60	30	150	Febrero	Junio
Papa	50	30	70	30	180	Mayo	Octubre
Brócoli	25	30	25	10	90	Abril	Junio
Fresa	20	40	40	20	120	Septiembre	Diciembre
Alfalfa	20	40	40	20	120	Enero	Abril
Pasto	20	40	40	20	120	Enero	Abril

Fuente: Autoras

3.1.4.3 Profundidad radicular

Se ha tomado una profundidad radicular media de cada cultivo y de todos ellos el valor promedio es el que se utilizó para el cálculo de los parámetros de riego, tabla 3.14.

Tabla 3.14 Profundidad radicular de los cultivos.

Cultivo	Profundidad radicular (m)
Maíz grano	1
Arveja verde	0.8
Quinoa	0.95
Cebada	1
Papa	0.5
Brócoli	0.5
Fresa	0.25
Alfalfa	1.5
Pasto	1
Promedio	0.83

Fuente: (Allen et al., 2006)

3.1.5 Evapotranspiración de cultivo

3.1.5.1 Coeficiente de cultivo (Kc)

Para cada fase de cultivo se ha obtenido el valor del coeficiente de cultivo como se observa en la tabla 3.15. Posteriormente siguiendo el procedimiento detallado en el capítulo 2, sección 2.1.2.2.2 curva del coeficiente de cultivo, se dibujó la curva que

indica los cambios del coeficiente de cultivo a lo largo de las diferentes fases, como ejemplo en la figura.3.8 se observa la variación del coeficiente de cultivo de la papa.

Tabla 3.15 Valores de los coeficientes de cultivo.

CULTIVO	kc inicial	kc medio	kc final
Maíz grano	0.70	1.20	0.60
Arveja verde	0.50	1.15	1.10
Quinoa	0.50	1.15	0.50
Cebada	0.30	1.15	0.25
Papa	0.50	1.15	0.75
Brócoli	0.70	1.05	0.95
Fresa	0.40	0.85	0.75
Alfalfa	0.40	0.95	0.90
Pasto	0.40	0.95	0.85

Fuente: (Allen et al., 2006)

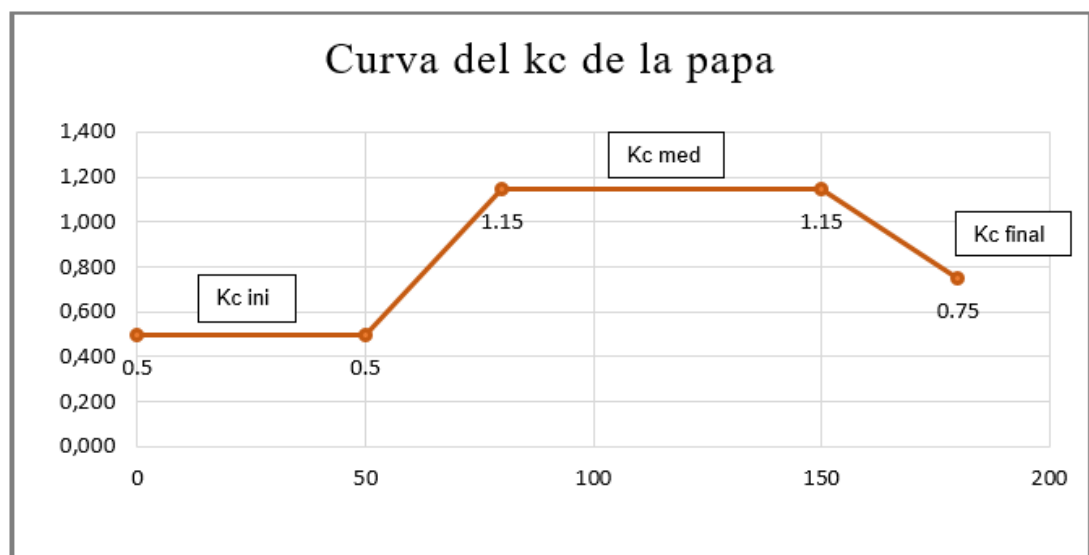


Figura 3.8 Cambios en el kc de la papa, a lo largo de las fases de cultivo.

Fuente: Autoras

Los valores de la evapotranspiración de cultivo fueron obtenidos para cada uno de los cultivos predominantes del sector, mismos que se observan de manera conjunta en la sección de las necesidades netas de riego.

3.1.6 Necesidades netas de riego

Para determinar la cantidad de agua necesaria para que el cultivo crezca y se desarrolle, se ha dividido los meses del período vegetativo en diez días que facilitan la estimación

del coeficiente de cultivo. De los cálculos realizados se ha determinado que la papa es el cultivo que tiene la necesidad neta de riego máxima cuyo valor es de 1.47 mm/día, durante todo el mes de agosto, en donde se observa la precipitación efectiva más baja de todo el año, tabla 3.16.

Tabla 3.16 Necesidad neta de riego de la papa.

Mes	May			Jun			Jul			Ago			Sep			Oct		
ETo (mm/d)	1.77	1.77	1.77	1.72	1.72	1.72	1.63	1.63	1.63	1.64	1.64	1.64	1.75	1.75	1.75	1.76	1.76	1.76
kc	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.72	0.93	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.02	0.88	0.75
Etc (mm/d)	0.88	0.88	0.88	0.86	0.86	1.23	1.52	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	2.01	2.01	2.01	1.79	1.56	1.32
Pe _{ff} (mm/d)	1.29	1.29	1.29	0.81	0.81	0.81	0.49	0.49	0.49	0.42	0.42	0.42	0.64	0.64	0.64	1.06	1.06	1.06
N _n (mm/d)	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.43	1.03	1.39	1.39	1.47	1.47	1.47	1.37	1.37	1.37	0.73	0.49	0.26

Fuente: Autoras

Los valores de N_n iguales a 0 mm/día quieren decir que en esos períodos el cultivo no requiere de riego.

Ver anexo 8: Necesidades netas de riego de los cultivos predominantes.

3.1.7 Parámetros de riego

En la tabla 3.17 se muestran los resultados de los parámetros de riego para el sistema de riego presurizado mediante aspersión planteado para el sector Pungoloma, estableciendo un intervalo de riego de 15 días, durante 7 días consecutivos, basado en el turno actual del sector, para el cual se ha determinado una dosis bruta de riego de 29.31 mm.

Tabla 3.17 Parámetros de riego.

Descripción	Expresado como	Unidades	Valor
Agua utilizable	AU	mm	117.80
Dosis neta de riego	D _n	mm	58.90
Déficit permisible de manejo	DPM	%	50.00
Máximo intervalo entre riegos	I _M	días	40.20
Intervalo de riego	I	días	15.00
Dosis neta ajustada	D _{n aj}	mm	21.98
Dosis bruta de riego	D _b	mm	29.31
Eficiencia de aplicación	E _a	%	75.00
Tiempo de aplicación mínimo	t _a	h	3.91
Factor de reducción por pendiente	f _p	%	60.00
Necesidad bruta	N _b	mm	1.95

Fuente: Autoras

3.1.8 Caudal necesario

Para dotar de riego a toda la zona productiva del sector Pungoloma se ha decidido dividir el sector en 7 zonas, de manera que el caudal mínimo requerido está entre los 11.64 l/s y 16.71 l/s, como se indica en la tabla 3.18.

Tabla 3.18 Caudal necesario.

Zonas	Área (ha)	Qm quincenal (l/s)
Zona 1	3.158	12.24
Zona 2	4.310	16.71
Zona 3	3.635	14.09
Zona 4	3.384	13.12
Zona 5	3.002	11.64
Zona 6	3.820	14.81
Zona 7	3.340	12.95
Total	24.65	95.55

Fuente: Autoras

De esta manera se verificó que los 20 l/s adjudicados al sector diariamente dentro del intervalo de riego por parte de la TUCAYTA, son suficientes para cubrir el área total durante los 7 días consecutivos de turno correspondiente.

Es importante indicar que la medición del caudal de ingreso hacia el sector Pungoloma, se hace a través de unas regletas instaladas en las paredes de la estructura de captación, como se observa en la figura 3.9.



Figura 3.9 Medición del caudal de ingreso.

Fuente: Autoras

3.2 Diseño hidráulico

3.2.1 Topografía

Previamente realizando el enlace con la red del Instituto Geográfico Militar (IGM), se inició el trabajo de campo, que comprende: levantamiento topográfico de los predios y de la red de conducción principal y secundaria.

3.2.1.1 Estaciones de referencia

Con el objetivo de garantizar la calidad de los datos obtenidos, se inició con la georreferenciación y definición de los Puntos de Referencia (BM), que se utilizaron como puntos fijos de enlace y control del levantamiento topográfico. La georreferenciación de los BMs se presenta a través de coordenadas horizontales X y Y del Universal Transverse Mercator, Datum WGS 84, en tanto que la altitud, Z, está representada con el Datum Elipsoide, tabla 3.19.

Tabla 3.19 Estaciones de Referencia

Descripción	X	Y	Z
BM1	727176.282	9716886.17	3320.469
BM2	727229.838	9716967.95	3309.824
BM3	727457.882	9717092.85	3214.246
BM4	727399.75	9717436.03	3205.647
BM5	727602.541	9717472.79	3183.4
BM6	727661.4145	9717329.87	3148.583
BM7	727738.275	9717630.31	3123.072

Fuente: Autoras

En total se construyeron 7 BMs conformados por hitos rectangulares de hormigón de 30 cm de profundidad, con un área de 20x20 cm y una varilla saliente al medio que define un punto único, figura 3.10 y distribuidos estratégicamente en toda la zona de estudio.



Figura 3.10 Puntos de referencia.
Fuente: Autoras

Por su parte las estaciones auxiliares de referencia para la medición de los predios fueron identificadas con estacas, pintadas de color rojo como se observa en la figura 3.11.



Figura 3.11 Estaciones auxiliares de referencia.
Fuente: Autoras

3.2.1.2 Equipos de medición

El reconocimiento del área de influencia se realizó con GPS de alta precisión Trimble GEOXH serie 2008, en tanto que el levantamiento catastral de los predios, así como la red de conducción primaria y secundaria y obras especiales, se realizó con un equipo de Medición Electrónica de Distancias Trimble DR 2, figura 3.12.



Figura 3.12 Equipos de medición.
Fuente: Autoras

Ver anexo 9. Levantamiento catastral del sector Pungoloma.

3.2.2 Diseño hidráulico de la red de distribución

Para el diseño hidráulico se utilizó la herramienta informática WaterCad V8i, previamente se procesó el levantamiento topográfico con la ayuda de la herramienta informática Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018.

El trazado de la red se acopló en lo posible a la actual red de distribución que tiene el sector Pungoloma con la finalidad de tener un mínimo impacto y evitar conflictos con los propietarios de predios, con este procedimiento se obtuvieron datos esenciales para el diseño como las elevaciones de cada punto de entrega del agua y las áreas regables de cada parcela.

3.2.2.1 Consideraciones generales

- En la red de distribución se utilizaron tuberías y accesorios de PVC con unión por sellado (UZ) elastómero y unión por cementado solvente (EC) para riego.
- Basándose en catálogos de tuberías de PVC se definen velocidades mínimas de 0.25 m/s para evitar la acumulación de sedimentos y velocidades máximas de 2.5 m/s para evitar desgaste por fricción.

- Se consideran pérdidas por fricción en las tuberías de 10m cada kilómetro.
- Se escogieron diámetros de tuberías de tal manera que cumplan presiones de entre 18 y 85 mca, procurando no sobrepasar las presiones de trabajo especificadas en el catálogo seleccionado.
- Se colocaron 6 cajas rompe presión en puntos estratégicos a lo largo de la red de distribución.
- De acuerdo a la zonificación definida se colocaron un total de 17 válvulas de cierre en la entrada de cada zona, con la finalidad de permitir el acceso o de derivar el caudal hacia las otras zonas.
- También se colocaron válvulas de aire ubicadas aproximadamente cada 500m en las cotas más altas del proyecto para controlar la presencia de aire y válvulas de purga que se ubicaron en las cotas más bajas para facilitar la limpieza de sedimentos.
- Los niveles del proyecto para las tuberías principales y secundarias se consideraron a profundidades promedio entre -1.2 m y -1.5 m referidos desde el nivel del terreno natural.

3.2.2.2 Datos de ingreso para el programa WaterCad

La información procesada en el AutoCAD Civil sirvió de plantilla para la modelación hidráulica en el WaterCad, en donde inicialmente se procedió a definir las propiedades de los elementos entre éstas: el punto de partida, las elevaciones de cada conexión, áreas de influencia, demanda base, el material de la tubería con sus respectivos diámetros internos y coeficiente de rugosidad de acuerdo al catálogo escogido, válvulas reductoras de presión con una presión de salida igual a cero que emulan a un tanque rompe presiones y válvulas de apertura o cierre. Referirse a la tabla 3.20.

Tabla 3.20 Información previa para el diseño hidráulico.

Número de Lote	Área del Lote (Ha)	Demanda del Nudo (m/s)	Número del Nudo	Cota Proyecto (m)
Reservorio				3393.97
PRD001	0.106	0.41	N-3	3279.77
PRD002	0.240	0.93	N-4	3276.54
PRD003	0.136	0.53	N-5	3270.96
PRD004	0.140	0.54	N-8	3262.8
PRD005	0.043	0.17	N-9	3246.09
PRD006	0.146	0.57	N-10	3255.06
PRD007	0.660	2.56	N-11	3240.5
PRD008	0.930	3.61	N-13	3224.39
PRD009	0.253	0.98	N-14	3188.29
PRD010	0.220	0.85	N-20	3224.19
PRD011	0.190	0.74	N-15	3193.29
PRD012	0.031	0.12	N-18	3223.95
PRD013	0.250	0.97	N-21	3219.64
PRD014	0.160	0.62	N-24	3180.43
PRD015	0.173	0.67	N-25	3176.8
PRD016	0.169	0.66	N-28	3283.89
PRD017	0.014	0.05	N-29	3274.35
PRD018	0.014	0.05	N-30	3271.91
PRD019	0.047	0.18	N-32	3271.03
PRD020	0.130	0.5	N-31	3273.21
PRD021	0.237	0.92	N-36	3263.22
PRD022	0.130	0.5	N-34	3273.56
PRD023	0.120	0.47	N-38	3258.48
PRD024	0.095	0.37	N-40	3250.99
PRD025	0.255	0.99	N-41	3251.45
PRD026	0.042	0.16	N-43	3245.8
PRD027	0.223	0.86	N-48	3244.4
PRD028	0.281	1.09	N-50	3239.8
PRD029	0.120	0.47	N-45	3239.8
PRD030	0.021	0.08	N-46	3237.39
PRD031	0.042	0.16	N-47	3236.26
PRD032	0.082	0.32	N-7	3248.89
PRD033	0.130	0.5	N-54	3231.09
PRD034	0.083	0.32	N-55	3224.04
PRD035	0.069	0.27	N-52	3232.33
PRD036	0.057	0.22	N-53	3227.45
PRD037	0.094	0.37	N-58	3221.28
PRD038	0.082	0.32	N-17	3225.39
PRD039	0.110	0.43	N-59	3220.99
PRD040	0.140	0.54	N-60	3208.88
PRD041	0.122	0.47	N-22	3208.98
PRD042	0.100	0.39	N-64	3195.37
PRD043	0.075	0.29	N-62	3205.48
PRD044	0.100	0.39	N-63	3194.73
PRD045	0.120	0.47	N-65	3212.83
PRD046	0.046	0.18	N-67	3204.56
PRD047	0.077	0.3	N-68	3198.76
PRD048	0.079	0.31	N-69	3189.99

PRD049	0.150	0.58	N-70	3207.51
PRD050	0.133	0.52	N-71	3191.6
PRD051	0.730	2.83	N-97	3198.29
PRD052	0.341	1.32	N-73	3187.03
PRD053	0.151	0.59	N-74	3186.57
PRD054	0.221	0.86	N-75	3186.56
PRD055	0.240	0.93	N-100	3201.93
PRD056	0.031	0.12	N-101	3192.96
PRD057	0.075	0.29	N-103	3191.22
PRD058	0.070	0.27	N-114	3191.45
PRD059	0.081	0.31	N-115	3190.26
PRD060	0.075	0.29	N-117	3188.73
PRD061	0.083	0.32	N-118	3186.34
PRD062	0.106	0.41	N-116	3190.66
PRD063	0.107	0.41	N-104	3180.42
PRD064	0.191	0.74	N-120	3179.14
PRD065	0.100	0.29	N-105	3176.29
PRD066	0.113	0.44	N-107	3173.88
PRD067	0.114	0.44	N-109	3171.04
PRD068	0.210	0.81	N-110	3171.61
PRD069	0.160	0.62	N-111	3167.3
PRD070	0.150	0.58	N-112	3166.08
PRD071	0.196	0.76	N-113	3157.65
PRD072	0.074	0.29	N-89	3172.05
PRD073	0.080	0.31	N-87	3172.93
PRD074	0.096	0.37	N-91	3167.82
PRD075	0.093	0.36	N-92	3165.38
PRD076	0.150	0.58	N-93	3158.81
PRD077	0.160	0.62	N-94	3154.75
PRD078	0.440	1.71	N-85	3177.52
PRD079	0.133	0.52	N-79	3160.98
PRD080	0.169	0.66	N-81	3157.53
PRD081	1.110	4.3	N-83	3155.01
PRD082	0.320	1.24	N-95	3144.66
PRD083	0.559	2.17	N-96	3140.13
PRD084	3.002	11.64	N-84	3150.57
PRD085	3.820	14.81	N-123	3123.56
PRD086	1.770	6.86	N-125	3086.8
PRD087	1.570	6.09	N-126	3078.84
		0	N-1	3312.75
		0	N-2	3280.35
		0	N-6	3269.43
		0	N-12	3223.4
		0	N-16	3231.22
		0	N-19	3222.4
		0	N-23	3184.57
		0	N-26	3291.94
		0	N-27	3291.97
		0	N-33	3278.55
		0	N-35	3265.45
		0	N-37	3258.45
		0	N-39	3251.12
		0	N-42	3247

	0	N-44	3244.8
	0	N-49	3240.78
	0	N-51	3235.18
	0	N-56	3224.44
	0	N-57	3223.91
	0	N-61	3215.04
	0	N-66	3211.7
	0	N-72	3199.19
	0	N-76	3177.24
	0	N-77	3177.14
	0	N-78	3168.44
	0	N-80	3163.91
	0	N-82	3158.88
	0	N-86	3177.08
	0	N-88	3175.8
	0	N-90	3169.8
	0	N-98	3198.02
	0	N-99	3197.54
	0	N-102	3191.24
	0	N-106	3174.53
	0	N-108	3174.07
	0	N-119	3181.09
	0	N-121	3179.54
	0	N-122	3122.5
	0	N-124	3090.57

Fuente: Autoras

Los nodos que no tienen descripción del número de lote, área y demanda corresponden a aquellos que han sido introducidos para realizar las debidas conexiones de transición de la tubería.

3.2.2.3 Resultados de la primera área de riego, zona 1

Para su operación las válvulas ISO3, ISO5, ISO7, ISO8, ISO9, ISO10, ISO11, ISO12, ISO13, ISO14, ISO15, ISO16, ISO17 permanecen cerradas, tablas 3.21 y 3.22.

Tabla 3.21 Resumen de nodos, zona 1.

Red de riego presurizado “Pungoloma”				
Tabla de Red-Nodos				
ID Nodo	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Observación
Reservorio	3393.97		0	
N-1	3312.75	0	80	Conexión de Transición
N-2	3280.35	0	25	Conexión de Transición
N-3	3279.77	0.41	26	
N-4	3276.54	0.93	29	
N-5	3270.96	0.53	34	

N-6	3269.43	0	36	Conexión de Transición
N-7	3248.89	0.32	56	
N-8	3262.8	0.54	42	
N-9	3246.09	0.17	59	
N-10	3255.06	0.57	49	
N-26	3291.94	0	10	Conexión de Transición
N-27	3291.97	0	10	Conexión de Transición
N-28	3283.89	0.66	18	
N-29	3274.35	0.05	28	
N-30	3271.91	0.05	30	
N-31	3273.21	0.5	29	
N-32	3271.03	0.18	31	
N-33	3278.55	0	24	Conexión de Transición
N-34	3273.56	0.5	29	
N-35	3265.45	0	37	Conexión de Transición
N-36	3263.22	0.92	39	
N-37	3258.45	0	44	Conexión de Transición
N-38	3258.48	0.47	44	
N-39	3251.12	0	51	Conexión de Transición
N-40	3250.99	0.37	51	
N-41	3251.45	0.99	51	
N-42	3247	0	55	Conexión de Transición
N-43	3245.8	0.16	56	
N-44	3244.8	0	57	Conexión de Transición
N-45	3239.8	0.47	62	
N-46	3237.39	0.08	64	
N-47	3236.26	0.16	65	
N-48	3244.4	0.86	58	
N-49	3240.78	0	61	Conexión de Transición
N-50	3239.8	1.09	62	
N-51	3235.18	0	67	Conexión de Transición
N-52	3232.33	0.27	69	
N-53	3227.45	0.22	74	
N-54	3231.09	0.5	71	
N-55	3224.04	0.32	78	

Fuente: Autoras

Tabla 3.22 Resumen de tuberías, zona 1.

Red de riego presurizado “Pungoloma ” Tabla de Red-Tuberías							
ID Tubería	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas por Fricción (m/m)	Observaciones
T-1	695.26	184.6	150	12.29	0.46	0.001	

T-2	65.35	101.6	150	3.47	0.43	0.002	Válvula ISO-1 (Abierto)
T-2	114.49	101.6	150	3.47	0.43	0.002	Tanque rompe presión N° 1 (0mca)
T-3	4.49	82.8	150	3.47	0.64	0.005	Válvula ISO-2 (Abierto)
T-3	20.22	82.8	150	3.06	0.57	0.004	
T-4	46.6	82.8	150	2.13	0.4	0.002	
T-5	21.93	82.8	150	1.6	0.3	0.001	
T-6	25.89	36.8	150	0.32	0.3	0.003	
T-7	51.86	58	150	1.28	0.48	0.005	
T-8	41.18	28.8	150	0.17	0.26	0.003	
T-9	72.43	36.8	150	0.57	0.54	0.009	
T-25	120.79	147.6	150	8.82	0.52	0.002	Válvula ISO-4 (Abierto)
T-25	102.67	147.6	150	8.82	0.52	0.002	Tanque rompe presión N° 3 (0mca)
T-26	1.53	147.6	150	8.82	0.52	0.002	Válvula ISO-6 (Abierto)
T-27	41.62	58	150	1.44	0.55	0.006	
T-28	30.38	58	150	0.78	0.3	0.002	
T-29	4.66	58	150	0.73	0.28	0.002	
T-30	5.11	36.8	150	0.5	0.47	0.007	
T-31	5.56	28.8	150	0.18	0.28	0.004	
T-33	48.46	147.6	150	7.38	0.43	0.001	
T-34	12.08	36.8	150	0.5	0.47	0.007	
T-35	55.86	147.6	150	6.88	0.4	0.001	
T-36	25.37	58	150	0.92	0.35	0.002	
T-37	19.95	147.6	150	5.96	0.35	0.001	
T-38	10.11	36.8	150	0.47	0.44	0.007	
T-39	24.15	147.6	150	5.49	0.32	0.001	
T-40	10.02	36.8	150	0.37	0.35	0.004	
T-41	9.8	58	150	0.99	0.37	0.003	
T-42	17.69	101.6	150	4.13	0.51	0.003	
T-43	10.3	22.8	150	0.16	0.39	0.009	
T-44	7.75	101.6	150	3.97	0.49	0.002	
T-45	10.26	58	150	0.86	0.33	0.002	
T-46	30.61	58	150	0.71	0.27	0.002	
T-47	24.13	28.8	150	0.24	0.37	0.006	
T-48	14.99	22.8	150	0.16	0.39	0.009	
T-49	20.62	101.6	150	2.4	0.3	0.001	
T-50	10.33	58	150	1.09	0.41	0.003	
T-51	20.13	58	150	1.31	0.5	0.005	
T-52	10.37	36.8	150	0.49	0.46	0.007	
T-53	28.53	28.8	150	0.22	0.34	0.005	
T-54	38.65	58	150	0.82	0.31	0.002	
T-55	18.76	36.8	150	0.32	0.3	0.003	

Fuente: Autoras

3.2.2.4 Resultados de la segunda área de riego, zona 2

Para su operación las válvulas ISO2, ISO6, ISO8, ISO9, ISO10, ISO11, ISO12, ISO13, ISO14, ISO15, ISO16, ISO17 permanecen cerradas, tablas 3.23 y 3.24.

Tabla 3.23 Resumen de nodos, zona 2.

Red de riego presurizado “Pungoloma ” Tabla de Red-Nodos				
ID Nodo	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Observación
Reservorio	3393.97		0	
N-1	3312.75	0	80	Conexión de Transición
N-2	3280.35	0	23	Conexión de Transición
N-11	3240.5	2.56	21	
N-12	3223.4	0	38	Conexión de Transición
N-13	3224.39	3.61	37	
N-14	3188.29	0.98	73	
N-15	3193.29	0.74	68	
N-16	3231.22	0	30	Conexión de Transición
N-17	3225.39	0.32	36	
N-18	3223.95	0.12	37	
N-19	3222.4	0	39	Conexión de Transición
N-20	3224.19	0.85	37	
N-21	3219.64	0.97	41	
N-22	3208.98	0.47	52	
N-23	3184.57	0	76	Conexión de Transición
N-24	3180.43	0.62	80	
N-25	3176.8	0.67	83	
N-26	3291.94	0	11	Conexión de Transición
N-56	3224.44	0	16	Conexión de Transición
N-57	3223.91	0	16	Conexión de Transición
N-58	3221.28	0.37	19	
N-59	3220.99	0.43	19	
N-60	3208.88	0.54	31	
N-61	3215.04	0	25	Conexión de Transición
N-62	3205.48	0.29	34	
N-63	3194.73	0.39	45	
N-64	3195.37	0.39	44	
N-65	3212.83	0.47	27	
N-66	3211.7	0	28	Conexión de Transición

N-67	3204.56	0.18	35	
N-68	3198.76	0.3	41	
N-69	3189.99	0.31	50	
N-70	3207.51	0.58	32	
N-71	3191.6	0.52	48	

Fuente: Autoras

Tabla 3.24 Resumen de tuberías, zona 2.

Red de riego presurizado “Pungoloma ” Tabla de Red-Tuberías							
ID Tubería	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas por Fricción (m/m)	Observaciones
T-1	695.26	184.6	150	16.68	0.62	0.002	
T-2	65.35	101.6	150	11.91	1.47	0.019	Válvula ISO-1 (Abierto)
T-2	114.49	101.6	150	11.91	1.47	0.019	Tanque rompe presión N° 1 (0mca)
T-10	196.56	101.6	150	11.91	1.47	0.019	Válvula ISO-3 (Abierto)
T-10	87.21	101.6	150	11.91	1.47	0.019	Tanque rompe presión N° 2 (0mca)
T-11	112.19	101.6	150	5.33	0.66	0.004	
T-12	38.67	101.6	150	3.61	0.45	0.002	
T-13	73.88	82.8	150	1.72	0.32	0.001	
T-14	114.92	58	150	0.74	0.28	0.002	
T-15	109.6	101.6	150	4.02	0.5	0.003	
T-16	43.66	36.8	150	0.32	0.3	0.003	
T-17	18.39	82.8	150	3.7	0.69	0.006	
T-18	20.34	58	150	1.82	0.69	0.009	
T-19	5.33	58	150	0.97	0.37	0.003	
T-20	10.19	58	150	0.85	0.32	0.002	
T-21	34.25	82.8	150	1.76	0.33	0.001	
T-22	84.33	58	150	1.29	0.49	0.005	
T-23	25.79	36.8	150	0.62	0.58	0.011	
T-24	55.25	36.8	150	0.67	0.63	0.013	
T-25	120.79	147.6	150	4.77	0.28	0.001	Válvula ISO-4 (Abierto)
T-25	102.67	147.6	150	4.77	0.28	0.001	Tanque rompe presión N° 3 (0mca)
T-32	195.85	147.6	150	4.77	0.28	0.001	Válvula ISO-5 (Abierto)
T-32	45.62	147.6	150	4.77	0.28	0.001	Tanque rompe presión N° 4 (0mca)
T-56	1.64	101.6	150	4.77	0.59	0.003	Válvula ISO-7 (Abierto)
T-57	22.14	36.8	150	0.37	0.35	0.004	

T-58	23.68	101.6	150	4.4	0.54	0.003	
T-59	25.75	36.8	150	0.54	0.51	0.009	
T-60	58.67	101.6	150	3.43	0.42	0.002	
T-61	25.13	58	150	1.07	0.4	0.003	
T-62	36.17	58	150	0.78	0.3	0.002	
T-63	4.89	36.8	150	0.39	0.37	0.005	
T-64	15.71	101.6	150	2.36	0.29	0.001	
T-65	9.05	82.8	150	1.89	0.35	0.001	
T-66	17.29	58	150	0.79	0.3	0.002	
T-67	18.91	36.8	150	0.61	0.57	0.011	
T-68	36.71	36.8	150	0.31	0.29	0.003	
T-69	26.22	58	150	1.1	0.42	0.003	
T-70	64.9	36.8	150	0.52	0.49	0.008	

Fuente: Autoras

3.2.2.5 Resultados de la tercera área de riego, zona 3

Para su operación las válvulas ISO3, ISO5, ISO7, ISO8, ISO9, ISO10, ISO11, ISO12, ISO13, ISO14, ISO15, ISO16, ISO17 permanecen cerradas, tablas 3.25 y 3.26.

Tabla 3.25 Resumen de nodos, zona 3.

Red de riego presurizado “Pungoloma ” Tabla de Red-Nodos				
ID Nodo	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Observación
Reservorio	3393.97		0	
N-1	3312.75	0	80	Conexión de Transición
N-26	3291.94	0	10	Conexión de Transición
N-56	3224.44	0	16	Conexión de Transición
N-72	3199.19	0	21	Conexión de Transición
N-73	3187.03	1.32	33	
N-74	3186.57	0.59	34	
N-75	3186.56	0.86	33	
N-97	3198.29	2.83	22	
N-99	3197.54	0	23	Conexión de Transición
N-100	3201.93	0.93	18	
N-101	3192.96	0.12	27	
N-102	3191.24	0	29	Conexión de Transición
N-103	3191.22	0.29	29	
N-104	3180.42	0.41	39	
N-105	3176.29	0.29	43	
N-106	3174.53	0.22	45	
N-107	3173.88	0.44	46	
N-108	3174.07	0.18	46	
N-109	3171.04	0.44	48	
N-110	3171.61	0.81	48	
N-111	3167.3	0.62	52	

N-112	3166.08	0.58	53	
N-113	3157.65	0.76	62	
N-114	3191.45	0.27	28	
N-115	3190.26	0.31	30	
N-116	3190.66	0.41	29	
N-117	3188.73	0.29	31	
N-118	3186.34	0.32	33	
N-119	3181.09	0	39	Conexión de Transición
N-120	3179.14	0.74	41	

Fuente: Autoras

Tabla 3.26 Resumen de tuberías, zona 3.

Red de riego presurizado “Pungoloma” Tabla de Red-Tubería							
ID Tubería	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas por Fricción (m/m)	Observaciones
T-1	695.26	184.6	150	14.03	0.34	0.001	
T-25	120.79	147.6	150	14.03	0.82	0.004	Válvula ISO-4 (Abierto)
T-25	102.67	147.6	150	14.03	0.82	0.004	Tanque rompe presión N° 3 (0mca)
T-32	195.85	147.6	150	14.03	0.82	0.004	Válvula ISO-5 (Abierto)
T-32	45.62	147.6	150	14.03	0.82	0.004	Tanque rompe presión N° 4 (0mca)
T-71	24.34	147.6	150	14.03	0.82	0.004	Válvula ISO-8 (Abierto)
T-71	153.32	147.6	150	14.03	0.82	0.004	Tanque rompe presión N° 5 (0mca)
T-72	80.02	147.6	150	2.77	0.16	0.000	Válvula ISO-10 (Abierto)
T-73	49.8	58	150	1.45	0.55	0.006	Válvula ISO-11 (Abierto)
T-74	27.58	58	150	0.86	0.33	0.002	
T-95	88.66	147.6	150	11.26	0.66	0.003	Válvula ISO-9 (Abierto)
T-98	71.71	147.6	150	8.43	0.49	0.002	
T-99	16.15	58	150	0.93	0.35	0.003	
T-100	125.71	147.6	150	7.5	0.44	0.001	
T-101	25.21	147.6	150	7.38	0.43	0.001	
T-102	8.36	147.6	150	5.04	0.29	0.001	
T-103	61.23	147.6	150	4.75	0.28	0.001	
T-104	43.57	101.6	150	4.34	0.54	0.003	
T-105	25.46	101.6	150	4.05	0.5	0.003	
T-106	14.46	36.8	150	0.44	0.41	0.006	
T-107	17.98	101.6	150	3.39	0.42	0.002	
T-108	18.39	36.8	150	0.44	0.41	0.006	
T-109	39	101.6	150	2.77	0.34	0.001	

T-110	21.86	82.8	150	1.96	0.36	0.002	
T-111	15.2	58	150	1.34	0.51	0.005	
T-112	57.45	58	150	0.76	0.29	0.002	
T-113	10.07	82.8	150	2.34	0.43	0.003	
T-114	13.8	82.8	150	2.07	0.38	0.002	
T-115	9.13	36.8	150	0.41	0.39	0.005	
T-116	14.46	58	150	1.35	0.51	0.005	
T-117	14.06	58	150	1.06	0.4	0.003	
T-118	37.43	58	150	0.74	0.28	0.002	
T-119	20.12	58	150	0.74	0.28	0.002	

Fuente: Autoras

3.2.2.6 Resultados de la cuarta área de riego, zona 4

Para su operación las válvulas ISO1, ISO2, ISO3, ISO6, ISO7, ISO9, ISO11, ISO13, ISO14, ISO15, ISO16, ISO17 permanecen cerradas, tablas 3.27 y 3.28.

Tabla 3.27 Resumen de nodos, zona 4.

Red de riego presurizado “Pungoloma ”				
Tabla de Red-Nodos				
ID Nodo	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Observación
Reservorio	3393.97		0	
N-1	3312.75	0	80	Conexión de Transición
N-26	3291.94	0	10	Conexión de Transición
N-56	3224.44	0	16	Conexión de Transición
N-72	3199.19	0	21	Conexión de Transición
N-73	3187.03	1.32	33	
N-76	3177.24	0	43	Conexión de Transición
N-77	3177.14	0	43	Conexión de Transición
N-78	3168.44	0	51	Conexión de Transición
N-79	3160.98	0.52	58	
N-80	3163.91	0	56	Conexión de Transición
N-81	3157.53	0.66	62	
N-82	3158.88	0	60	Conexión de Transición
N-83	3155.01	4.3	63	
N-85	3177.52	1.71	42	
N-86	3177.08	0	43	Conexión de Transición
N-87	3172.93	0.31	47	
N-88	3175.8	0	44	Conexión de Transición
N-89	3172.05	0.29	47	
N-90	3169.8	0	49	Conexión de Transición
N-91	3167.82	0.37	51	

N-92	3165.38	0.36	54	
N-93	3158.81	0.58	60	
N-94	3154.75	0.62	64	
N-95	3144.66	1.24	74	
N-96	3140.13	2.17	79	

Fuente: Autoras

Tabla 3.28 Resumen de tuberías, zona 4.

Red de riego presurizado “Pungoloma ” Tabla de Red-Tuberías							
ID Tubería	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas por Fricción (m/m)	Observaciones
T-1	695.26	184.6	150	14.45	0.54	0.001	
T-25	120.79	147.6	150	14.45	0.84	0.004	Válvula ISO-4 (Abierto)
T-25	102.67	147.6	150	14.45	0.84	0.004	Tanque rompe presión N° 3 (0mca)
T-32	195.85	147.6	150	14.45	0.84	0.004	Válvula ISO-5 (Abierto)
T-32	45.62	147.6	150	14.45	0.84	0.004	Tanque rompe presión N° 4 (0mca)
T-71	24.34	147.6	150	14.45	0.84	0.004	Válvula ISO-8 (Abierto)
T-71	153.32	147.6	150	14.45	0.84	0.004	Tanque rompe presión N° 5 (0mca)
T-72	80.02	147.6	150	14.45	0.84	0.004	Válvula ISO-10 (Abierto)
T-75	68.82	147.6	150	13.13	0.77	0.004	
T-76	2.11	147.6	150	13.13	0.77	0.004	Válvula ISO-12 (Abierto)
T-78	3.97	101.6	150	7.65	0.94	0.008	
T-78	45.7	101.6	150	5.48	0.68	0.004	
T-79	36.43	36.8	150	0.52	0.49	0.008	
T-80	34.38	101.6	150	4.96	0.61	0.004	
T-81	23.2	36.8	150	0.66	0.62	0.012	
T-82	59.81	101.6	150	4.3	0.53	0.003	
T-83	24.9	82.8	150	4.3	0.80	0.008	
T-84	26.74	101.6	150	5.94	0.73	0.005	
T-85	17.88	36.8	150	0.31	0.29	0.003	
T-86	35.9	101.6	150	5.63	0.69	0.005	
T-87	20.07	101.6	150	5.63	0.69	0.005	
T-88	22.51	101.6	150	5.34	0.66	0.004	
T-89	14.41	36.8	150	0.37	0.35	0.004	
T-90	31.23	101.6	150	4.97	0.61	0.004	
T-91	33.83	101.6	150	4.61	0.57	0.003	
T-92	34.06	101.6	150	4.03	0.5	0.003	
T-93	54.99	101.6	150	3.41	0.42	0.002	
T-94	53.38	82.8	150	2.17	0.4	0.002	

Fuente: Autoras

3.2.2.7 Resultados de la quinta área de riego, zona 5

Para su operación las válvulas ISO1, ISO2, ISO3, ISO6, ISO7, ISO9, ISO11, ISO12, ISO14, ISO15, ISO16, ISO17 permanecen cerradas, tablas 3.29 y 3.30.

Tabla 3.29 Resumen de nodos, zona 5.

Red de riego presurizado “Pungoloma ” Tabla de Red-Nodos				
ID Nodo	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Observación
Reservorio	3393.97		0	
N-1	3312.75	0	80	Conexión de Transición
N-26	3291.94	0	10	Conexión de Transición
N-56	3224.44	0	16	Conexión de Transición
N-72	3199.19	0	21	Conexión de Transición
N-73	3187.03	1.32	32	
N-76	3177.24	0	40	Conexión de Transición
N-84	3150.57	11.64	63	

Fuente: Autoras

Tabla 3.30 Resumen de tuberías, zona 5.

Red de riego presurizado “Pungoloma ” Tabla de Red-Tuberías							
ID Tubería	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas por Fricción (m/m)	Observaciones
T-1	695.26	184.6	150	12.96	0.48	0.001	
T-25	120.79	147.6	150	12.96	0.76	0.004	Válvula ISO-4 (Abierto)
T-25	102.67	147.6	150	12.96	0.76	0.004	Tanque rompe presión N° 3 (0mca)
T-32	195.85	147.6	150	12.96	0.76	0.004	Válvula ISO-5 (Abierto)
T-32	45.62	147.6	150	12.96	0.76	0.004	Tanque rompe presión N° 4 (0mca)
T-71	24.34	147.6	150	12.96	0.76	0.004	Válvula ISO-8 (Abierto)
T-71	153.32	147.6	150	12.96	0.76	0.004	Tanque rompe presión N° 5 (0mca)
T-72	80.02	147.6	150	12.96	0.76	0.004	Válvula ISO-10 (Abierto)
T-75	68.82	147.6	150	11.64	0.68	0.003	

T-77	219.43	147.6	150	11.64	0.68	0.003	Válvula ISO-13 (Abierto)
------	--------	-------	-----	-------	------	-------	-----------------------------

Fuente: Autoras

3.2.2.8 Resultados de la sexta área de riego, zona 6

Para su operación las válvulas ISO1, ISO2, ISO3, ISO6, ISO7, ISO9, ISO11, ISO12, ISO14, ISO15, ISO16, ISO17 permanecen cerradas, tablas 3.31 y 3.32.

Tabla 3.31 Resumen de nodos, zona 6.

Red de riego presurizado “Pungoloma ”				
Tabla de Red-Nodos				
ID Nodo	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Observación
Reservorio	3393.97		0	
N-1	3312.75	0	80	Conexión de Transición
N-26	3291.94	0	10	Conexión de Transición
N-56	3224.44	0	16	Conexión de Transición
N-72	3199.19	0	21	Conexión de Transición
N-97	3198.29	2.83	21	
N-98	3198.02	0	22	Conexión de Transición
N-121	3179.54	0	39	Conexión de Transición
N-122	3122.5	0	21	Conexión de Transición
N-123	3123.56	14.81	20	

Fuente: Autoras

Tabla 3.32 Resumen de tuberías Zona 6.

Red de riego presurizado “Pungoloma ”							
Tabla de Red-Tuberías							
ID Tubería	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Perdidas por Fricción (m/m)	Observaciones
T-1	695.26	184.6	150	17.64	0.66	0.002	
T-25	120.79	147.6	150	17.64	1.03	0.006	Válvula ISO-4 (Abierto)
T-25	102.67	147.6	150	17.64	1.03	0.006	Tanque rompe presión N° 3 (0mca)
T-32	195.85	147.6	150	17.64	1.03	0.006	Válvula ISO-5 (Abierto)
T-32	45.62	147.6	150	17.64	1.03	0.006	Tanque rompe presión N° 4 (0mca)

T-71	24.34	147.6	150	17.64	1.03	0.006	Válvula ISO-8 (Abierto)
T-71	153.32	147.6	150	17.64	1.03	0.006	Tanque rompe presión N° 5 (0mca)
T-95	88.66	147.6	150	17.64	1.03	0.006	Válvula ISO-9 (Abierto)
T-96	1.5	147.6	150	14.81	0.87	0.005	Válvula ISO-15 (Abierto)
T-97	307.66	147.6	150	14.81	0.87	0.005	
T-120	108.01	147.6	150	14.81	0.87	0.005	
T-120	66.27	147.6	150	14.81	0.87	0.005	Tanque rompe presión N° 6 (0mca)
T-121	7.38	147.6	150	14.81	0.87	0.005	Válvula ISO-16 (Abierto)

Fuente: Autoras

3.2.2.9 Resultados de la séptima área de riego, zona 7

Para su operación las válvulas ISO1, ISO2, ISO3, ISO6, ISO7, ISO9, ISO11, ISO12, ISO14, ISO15, ISO16 permanecen cerradas, tablas 3.33 y 3.34.

Tabla 3.33 Resumen de nodos, zona 7.

Red de riego presurizado “Pungoloma ”				
Tabla de Red-Nodos				
ID Nodo	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Observación
Reservorio	3393.97		0	
N-1	3312.75	0	81	Conexión de Transición
N-26	3291.94	0	10	Conexión de Transición
N-56	3224.44	0	16	Conexión de Transición
N-72	3199.19	0	21	Conexión de Transición
N-97	3198.29	2.83	22	
N-98	3198.02	0	22	Conexión de Transición
N-121	3179.54	0	39	Conexión de Transición
N-122	3122.5	0	21	Conexión de Transición
N-124	3090.57	0	52	Conexión de Transición
N-125	3086.8	6.86	56	
N-126	3078.84	6.09	64	

Fuente: Autoras

Tabla 3.34 Resumen de tuberías, zona 7.

Red de riego presurizado “Pungoloma ” Tabla de Red-Tuberías							
ID Tubería	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas por Fricción (m/m)	Observaciones
T-1	695.26	230.8	150	15.78	0.38	0.001	
T-25	120.79	147.6	150	15.78	0.92	0.005	Válvula ISO-4 (Abierto)
T-25	102.67	147.6	150	15.78	0.92	0.004	Tanque rompe presión N° 3 (0mca)
T-32	195.85	147.6	150	15.78	0.92	0.005	Válvula ISO-5 (Abierto)
T-32	45.62	147.6	150	15.78	0.92	0.005	Tanque rompe presión N° 4 (0mca)
T-71	24.34	147.6	150	15.78	0.92	0.005	Válvula ISO-8 (Abierto)
T-71	153.32	147.6	150	15.78	0.92	0.005	Tanque rompe presión N° 5 (0mca)
T-95	88.66	147.6	150	15.78	0.92	0.005	Válvula ISO-9 (Abierto)
T-96	1.5	147.6	150	12.95	0.76	0.004	Válvula ISO-15 (Abierto)
T-97	307.66	147.6	150	12.95	0.76	0.004	
T-120	108.01	147.6	150	12.95	0.76	0.004	
T-120	66.27	147.6	150	12.95	0.76	0.004	Tanque rompe presión N° 6 (0mca)
T-122	248.25	147.6	150	12.95	0.76	0.004	Válvula ISO-17 (Abierto)
T-123	27.4	147.6	150	6.86	0.4	0.001	
T-124	88.09	147.6	150	6.09	0.36	0.001	

Fuente: Autoras

Ver anexo 10. Red de distribución del sistema de riego presurizado.

Ver anexo 11. Perfiles del sistema de riego presurizado.

Ver anexo 12. Detalles de las cámaras.

3.2.3 Diseño hidráulico de la parcela demostrativa

Para el diseño hidráulico de la parcela demostrativa se tomó el predio con código PRD040, correspondiente al nodo N-60, de la zona 2, figura 3.13, con una presión de entrega de 31 mca y tubería secundaria (T59) con diámetro interno de 36.8 mm, esto obtenido del diseño hidráulico de la red de distribución.

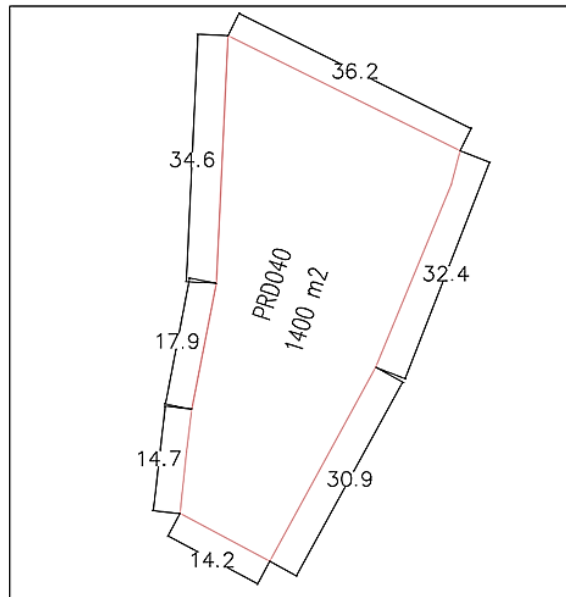


Figura 3.13 Predio seleccionado.

Fuente: Autoras

Para el diseño hidráulico de un sistema de riego por aspersión a nivel parcelario, se planteó 2 alternativas, con la finalidad de que el usuario tenga 2 opciones de riego.

- Alternativa 1: A partir de la presión directa obtenida de la red en el nodo N60.
- Alternativa 2: En el caso de contar con un tanque o reservorio de almacenamiento de agua, en donde su distribución se realiza con la ayuda de una bomba.

3.2.3.1 Selección del tipo de aspersor

El diseño de riego por aspersión a nivel parcelario está basado en el manual de minirriego de la FAO, para ello se requiere de la información contenida en la tabla 3.35.

Tabla 3.35 Requerimientos del predio seleccionado.

Requerimientos	Expresado como:	Unidad	Valor
Superficie de riego	S	m ²	1400
Dosis bruta	D _b	mm	29.31
Tiempo de operación	t _{os}	h	21
Caudal mínimo quincenal	Q _{min}	l/s	0.54

Fuente: Autoras

El valor de la superficie de riego se obtuvo del levantamiento topográfico, y el resto de requerimientos fueron determinados a través del diseño agronómico del sistema, cuyo procedimiento se detalla en el capítulo 2, sección 2.1.4 parámetros de riego y sección 2.1.5 caudal mínimo.

En función de la presión de entrega, el diseño se realizó para tres tipos de aspersores de impacto; como referencia se trabajó con la marca Senninger de serie 30, 40 y 50 con presiones de trabajo de 30 PSI a 65 PSI (21 mca a 46 mca), mismos que presentan las siguientes características:

- Son aspersores que trabajan a círculo completo de conexión rosca macho de ¾" con mayor rango de caudal.
- Poseen alta tasa de aplicación y mayor alcance.
- Ángulo de 23°, apto para cualquier aplicación.
- Disponen de doble boquilla, otorgando excelente distribución y uniformidad en todas las presiones.
- Construidos con componentes termoplásticos de alto impacto y máxima calidad de acero inoxidable (Plastigama, n.d.).

Siguiendo el procedimiento establecido en el capítulo 2, sección 2.1.6.3 parámetros de selección del tipo de aspersor, se determinó el número de aspersores necesarios para cubrir el área total de riego, la separación, el número de posiciones, su tiempo de aplicación entre otros parámetros para el modelo de aspersor 4023-2-3/4" M con una presión en boquilla de 45 PSI (31.66 mca) y un caudal de 0.54 l/s. Los resultados se observan en la tabla 3.36 y figura 3.14.

Tabla 3.36 Parámetros de diseño de la parcela demostrativa.

Aspersor	Presión en la boquilla	
	PSI	45
Especificaciones		
4023-2-3/4" M		
Boq # 12x6(3/16x3/32")		
Caudal	l/s	0.54
Diámetro a 0.5 m	m	30.21
Parámetros de diseño		
Número de aspersores simultáneos	u	1
Déficit de caudal	%	-0.60
Separación entre aspersores	m	18
Pluviometría de un aspersor	mm/h	5.99

Tiempo de aplicación	h	4.9
Superficie por postura	m2	324
Número de posturas por día	u	4
Superficie regada por día	m2	1296
Error	%	7.43

Fuente: Autoras

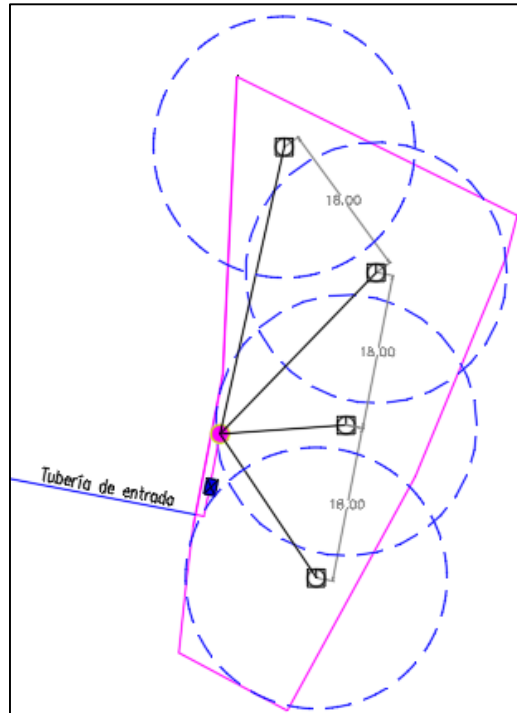


Figura 3.14 Distribución de aspersores.

Fuente: Autoras

Ver anexo 13. Diseño parcelario para los aspersores tomados como referencia.

3.2.3.2 Diseño a partir de la presión de llegada

La modelación hidráulica de la parcela demostrativa se realizó por medio del Watercad a partir de un hidrante, al mismo se conectó una tubería de polietileno (PE) de 1" de diámetro para las laterales de riego debido a su fácil manipulación y flexibilidad, figura 3.15

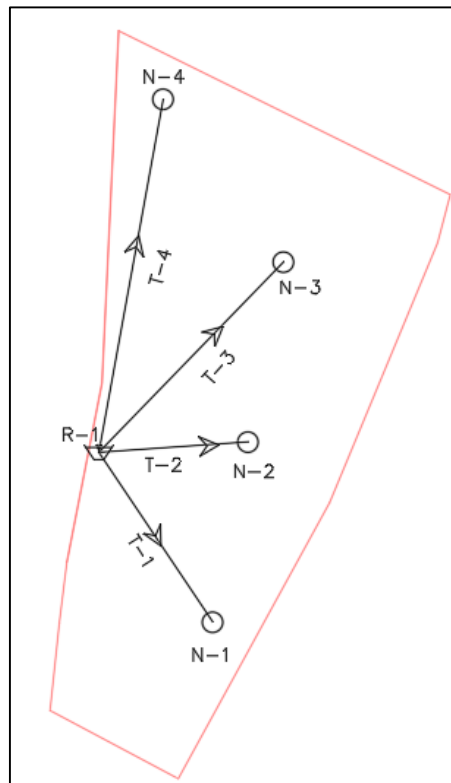


Figura 3.15 Modelación hidráulica de la parcela demostrativa, alternativa 1.
Fuente: Autoras

En las tablas 3.37 y 3.38 se detallan los resultados obtenidos de la modelación hidráulica del sistema para la alternativa 1.

Tabla 3.37 Resumen de nodos de la parcela demostrativa, alternativa 1.

Red de riego presurizado Pungoloma Tabla red-Nodos				
ID Nodo	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Observación
Reservorio	3239.88			Funciona como hidrante
N-1	3206.97	0.54	32	Aspersor de ¾", Serie 4023-2-3/4" M, Boquilla #8x6(1/8x3/32"), Presión mínima=21.09 mca, D riego =30.21m, h= 0.5m.
N-2	3204.02	0.54	35	
N-3	3201.82	0.54	37	
N-4	3204.77	0.54	33	

Fuente: Autoras.

Tabla 3.38 Resumen de tuberías de la parcela demostrativa, alternativa 1.

Red de riego presurizado Pungoloma Tabla red-Tuberías				
ID Tubería	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
T-1	20.02	26.64	0.54	0.97
T-2	14.62	26.64	0.54	0.97
T-3	25.98	26.64	0.54	0.97
T-4	35.21	26.64	0.54	0.97

Fuente: Autoras

Ver anexo 14. Diseño hidráulico de la parcela demostrativa, alternativa 1.

3.2.3.3 Diseño a partir de un sistema de almacenamiento, con bomba.

La segunda alternativa se modeló a partir de un tanque de almacenamiento, en donde el agua es impulsada hacia la red con la ayuda de una bomba, seleccionada de acuerdo a la altura necesaria de bombeo en este caso igual a la profundidad del tanque de 1.6m, figura 3.16.

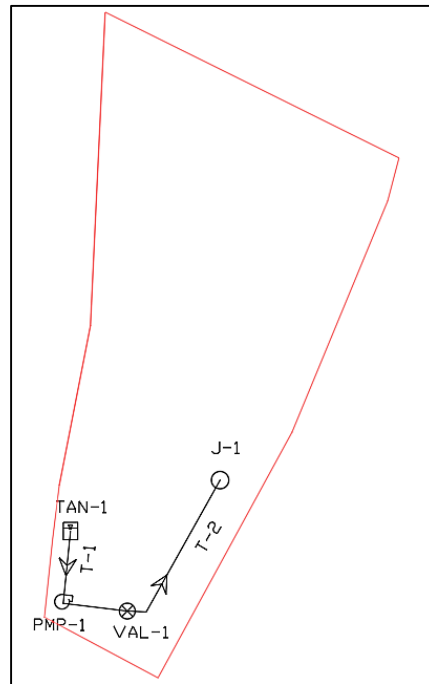


Figura 3.16 Modelación hidráulica de la parcela demostrativa, alternativa 2.
Fuente: Autoras

La potencia de la bomba se calculó con una eficiencia del 40% al 60%, obteniendo una potencia menor a 2 Hp, de manera que para el diseño se tomó como referencia la motobomba LPG10 que dispone de una potencia de 1.6 Hp, 7500 rpm, boca 1"x1", flujo máximo de 10L/min, altura máxima de 35m y succión máxima de 8m (LEO, n.d.).

En las tablas 3.39 y 3.40 se detallan los resultados obtenidos de la modelación hidráulica del sistema para la alternativa 2.

Tabla 3.39 Resumen de nodos de la parcela demostrativa, alternativa 2.

Red de riego presurizado Pungoloma Tabla red-Nodos				
ID Nodo	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Observación
Tanque	3210.05	0.54		
Bomba	3212.00			
N-1	3206.97	0.54	34	
N-2	3204.02	0.54	37	
N-3	3201.82	0.54	39	
N-4	3204.77	0.54	36	

Fuente: Autoras

Tabla 3.40 Resumen de tuberías de la parcela demostrativa, alternativa 2.

Red de riego presurizado Pungoloma Tabla red-Tuberías					
ID Tubería	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Observaciones
T-1	2.5	26.64	0.54	0.97	Bomba
T-1	19.6	26.64	0.54	0.97	Válvula Check
T-2	2.5	26.64	0.54	0.97	Bomba
T-2	55	26.64	0.54	0.97	Válvula Check
T-3	2.5	26.64	0.54	0.97	Bomba
T-3	66	26.64	0.54	0.97	Válvula Check

Fuente: Autoras

Ver anexo 15. Diseño hidráulico de la parcela demostrativa, alternativa 2.

Ver anexo 16. Especificaciones para tuberías de PVC y Polietileno.

CAPITULO 4

VALORACIÓN DEL PROYECTO

4.1 Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas servirán de guía para las actividades constructivas del sistema de riego presurizado para el sector Pungoloma, puesto que contienen las normas, exigencias y procedimientos que se deben aplicar para la correcta ejecución de la obra. Tienen su fundamento en las especificaciones técnicas otorgadas por la Municipalidad de Cañar, utilizadas para los proyectos de los sistemas de riego de Pucuhuayco, San Rafael y Shizho.

Ver anexo 17. Especificaciones técnicas.

4.2 Cantidades de obra

La determinación de las cantidades de obra de cada uno de los rubros se realizó en función de los requerimientos establecidos en las especificaciones técnicas, planos y métodos constructivos, tomando en cuenta las unidades de medida respectivas, así por ejemplo la determinación de volúmenes se realizó en metros cúbicos, áreas en metros cuadrados, para el caso de tubería tanto de la red principal como secundaria se cuantificó en metros lineales y los accesorios utilizados en las cámaras rompe presión, de purga, aire, control e hidrantes parcelarios en unidades.

Ver anexo 18. Determinación de cantidades de obra.

4.3 Análisis de precios unitarios

Para el análisis de precios unitarios se utilizó la herramienta informática INTERPRO 2010, con la base de datos de la Municipalidad de Cañar, correspondiente al proyecto de riego Pucuhuayco. El costo directo de cada rubro contempló el costo de materiales, equipos, mano de obra y transporte, mientras que el costo indirecto representó el 20% del costo directo.

El costo de los materiales de construcción, equipos y herramienta se verificó a través de la recopilación de información en la localidad, por su parte el salario de la mano de

obra fue actualizada en función a lista de precios emitida por la Contraloría General del Estado para el año 2018.

Ver anexo 19. Análisis de precios unitarios.

4.4 Presupuesto

El presupuesto del sistema riego presurizado para el sector Pungoloma de la comunidad de Quilloac del cantón Cañar, provincia del Cañar se obtuvo en función de las cantidades de obra y del análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros que conforman la obra en general. Consta de 11 capítulos los cuales son conducción y distribución, cámaras para válvulas de cierre o seccionamiento, accesorios para válvulas de cierre o seccionamiento, cámaras para válvulas de aire, accesorios para válvulas de aire, cámaras para válvulas de purga, accesorios para válvulas de purga, cámaras rompe presión, accesorios para cámaras rompe presión, cámaras para hidrantes parcelarios y accesorios para cámaras de hidrantes parcelarios.

El proyecto de riego tiene un costo total de 250,936.78 dólares americanos incluyendo un IVA del 12%, con un 20% de indirectos.

Los rubros correspondientes a excavación de zanjas, rasanteo manual de fondo de zanja y el relleno con material de sitio apisonado manualmente tiene un valor total de 60,765.22 dólares americanos sin IVA.

También se determinó el presupuesto correspondiente al modelo de sistema de riego por aspersión de la parcela demostrativa para las alternativas propuestas, teniendo un costo total de 73.13 dólares americanos sin IVA para la alternativa 1 y un costo total de 1,094.18 dólares americanos sin IVA para la alternativa 2.

Ver anexo 20. Presupuesto de obra.

4.5 Cronograma valorado

El cronograma valorado tiene como objetivo facilitar la ejecución de las tareas de seguimiento y control de avance de obra, además de obtener las proyecciones y las medidas que permitan anticipar desviaciones en la planificación (Urgilés, Claver, & Sebastian, 2018).

De la misma manera que se realizó el análisis de precios unitarios y presupuesto de obra, para la elaboración del cronograma valorado se utilizó la herramienta informática INTERPRO 2010 definiendo un período de cinco meses para la ejecución de la obra, para cada mes se definió un avance en cantidades de obra y porcentaje de inversión mensual.

Ver anexo 21. Cronograma valorado.

4.6 Manual de operación y mantenimiento

Con el objetivo de brindar una guía al usuario sobre el funcionamiento del sistema de riego presurizado, se elaboró un manual de operación y mantenimiento en donde se detalla cada una de las partes que conforman el sistema de riego, su forma de operación, las actividades de mantenimiento preventivo que se pueden realizar con el fin de evitar daños en el sistema y en caso de presentar anomalías las alternativas de mantenimiento correctivo que pueden aplicarse para que el sistema vuelva a trabajar con normalidad.

Ver anexo 22. Manual de operación y mantenimiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En el capítulo 1 y 2 se recopiló toda la información necesaria a cerca de la descripción general de zona, el tipo de sistema de riego que actualmente se maneja en el sector, además de los parámetros de diseño que se utilizaron tanto para el diseño agronómico e hidráulico del sistema.
- En el capítulo 3 de acuerdo a los análisis realizados, el suelo sobre el cual se ha intervenido es de clase textual franco-arenoso-arcilloso con una densidad promedio de 1.32 gr/cm^3 , capacidad de campo de $0.29 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ y punto de marchitez permanente de $0.18 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, de la misma manera se determinó que el agua disponible es apta para riego sin presentar ninguna restricción en su uso, esto en función de los parámetros físico-químicos establecidos por el INIAP y la cantidad máxima permisible de coliformes totales establecidos en el TUSLA.

En función de los cultivos predominantes y los parámetros de diseño establecidos se calculó una necesidad máxima de riego de 1.47 mm/día para el cultivo de papa durante el mes de agosto donde se registraron las precipitaciones más bajas del año. Definiendo de esta manera un caudal mínimo diario de 6.37 l/s necesario para dotar de riego a todo el sector, sin embargo, con la finalidad de no afectar la actual distribución del agua se decidió mantener el turno de riego de cada 15 días, durante 7 días consecutivos, dividiendo el sector en 7 zonas de riego, en donde los 20 l/s adjudicados diariamente durante el turno de riego por parte de la TUCAYTA son suficientes para cada zona.

El trazado de la red se acopló en gran parte a la actual red de distribución que tiene el sector Pungoloma con la finalidad de generar un mínimo impacto y evitar conflictos con los propietarios de las parcelas. Mediante la modelación hidráulica del sistema se definió que el rango de presiones promedio está entre los 20 a 60 mca, para ello fue necesario implementar 6 cámaras rompe presión,

17 válvulas de cierre, adicional a ello se colocaron 7 válvulas de aire para controlar la presencia de aire y 7 válvulas de purga que facilitarán la remoción de sedimentos. También se presentó una propuesta de riego parcelario por aspersión en donde se simuló 2 posibles alternativas.

- Finalmente, en el capítulo 4 se realizó la propuesta económica llegando a determinar el monto total del proyecto, para ello fue necesario definir las especificaciones técnicas, cuantificar las cantidades de obra y realizar el análisis de precios unitarios con el objetivo de que posteriormente el proyecto adquiera financiamiento y pueda ser construido.

Recomendaciones

- La ejecución del proyecto debe tomar como guía el presente estudio, regirse a la memoria de cálculo, planos, y especificaciones técnicas establecidas. En caso de realizarse cambios a futuro en el diseño del sistema de distribución o bien en el proceso constructivo se debe considerar los criterios establecidos en el presente estudio.
- Para el diseño parcelario por aspersión, se recomienda la utilización de aspersores en función del caudal requerido y la presión de llegada del agua, de esta manera para el sistema directamente tomado desde el hidrante para presiones menores a 20 mca se recomienda utilizar aspersores que trabajen con un rango de presiones de 7 mca a 21 mca y caudales de 0.05 l/s a 0.24 l/s, para presiones entre 21 mca a 45.71 mca, aspersores que trabajen con caudales de 0.24 a 1.06 l/s y para presiones mayores a los rangos establecidos se sugiere implementar algún tipo de accesorio que disminuya la presión del agua y la distribución a nivel de parcela pueda efectuarse sin inconvenientes.

BIBLIOGRAFÍA

- Acedo, J. (2003). Control avanzado de procesos. Madrid.
- Afif, E. (2004). Apuntes de hidráulica para explotaciones forestales. España.
- AGROCALIDAD. (2015). Instructivo Para Toma De Muestra De Suelos. Obtenido de: <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos-foliare-aguas/instructivo-muestreo-suelos-laboratorios-agrocalidad.pdf>
- Allen, R. G. ., Pereira, L. S. ., Raes, D. ., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO :Estudios FAO Riego y Drenaje 56, 297. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>
- American Water Works Association. (2005). Manual de entrenamiento para operadores de sistemas de distribución de agua (Primera ed). México.
- Asociación de Agrónomos Indígenas del Cañar. (2004). Proceso de fertirrigación en el cultivo de tomate en invernadero (Segunda ed). Ecuador.
- Brière, F. G. (2005). Distribución de agua potable y colecta de desagüe y de agua lluvia. Montréal.
- Cabrera, M. E. (2016). Ampliación del sistema de agua potable para las comunidades de Banguir y San Martin de la parroquia San José de Raranga, en el cantón Sigsig. Universidad del Azuay.
- Cadahía, C. (2005). Fertirrigación Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales (Tercera ed).
- Caiza, A. M. (2017). Diseño de un sistema de riego por aspersión, incorporando estructuras de tratamiento preventivo, con un manual de operación y mantenimiento, en la comunidad “El Galpón”, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi. Repo.Uta.Edu.Ec, (1), 231.
- Carrazón, J. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación (FAO), 218.

- Corcho, F. H., & Duche, J. I. (2005). *Acueductos teoría y diseño* (Tercera ed). Colombia.
- Dean, R., Maglione, L., & Pianucci, A. (2010). *Un Sistema De Riego Por Aspersión De Avance Frontal*, (November).
- Díaz, J. (2006). *Mecánica de los fluidos e hidráulica* (Primera ed). Colombia.
- ETAPA. (2018). *Laboratorio de saneamiento*. Ecuador.
- Fuentes, J. (1996). *Técnicas de Riego*. Madrid.
- GAD del cantón Cañar. (2011). *Clima y Naturaleza*. May 16, 2018, Obtenido de: <http://www.canar.gob.ec>
- GAD Provincial de Cañar. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Cañar*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- García, C., Dias, A., & Calgaro, M. (2003). *Selección de bombas para riego*, 16.
- Gil, R. (2010). *El agua del suelo*, 1–10.
- Grupo Latino. (2013). *Sistemas de Riego*. Colombia.
- INIAP. (2018). *Estación Experimental del Austro. Laboratorio de manejo de suelos y aguas*. Ecuador.
- Instituto Geográfico Militar. (n.d.). *Carta Topográfica: Cañar*.
- Kang, S., Gu, B., Du, T., & Zhang, J. (2003). Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semi-humid region. *Agricultural Water Management*, 59(3), 239–254. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00150-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00150-6)
- LEO. (n.d.). *LGP Motobomba a gasolina*.
- López, J. (2018). *Curso de fontanería paso a paso* (Primera ed). España.
- MAE. (2002). *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Medio Ambiente*.
- Martínez, Mi. Á. (1993). *Hidráulica aplicada a proyectos de riego* (Segunda ed). Murcia.

- Montaner, M., Sánchez, E., & Serrano, A. (1988). Aproximación, por el método de Thornthwaite, al cálculo de infiltración de lluvia útil. *Papeles de Geografía*, 223–235.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos* (Sexta edic). México.
- NTE INEN 2169. (2013). Agua, calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras, First Edit, 7–12.
- Plastigama. (n.d.). Línea aspersión.
- Quesquén, J. C. (2016). Mejoramiento de un sistema de abastecimiento de agua potable en la localidad de Piyay, Distrito de Pataypampa, provincia de Graú-Región Apurímac. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Ramos, M., & Báez, D. (2013). Diseño y construcción de un sistema de riego por aspersión en una parcela demostrativa en el cantón Cevallos, 133.
- Ruiz, A., & Molina, J. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego* (Primera ed). España.
- Scheff, J., & Frierson, D. M. W. (2014). Scaling potential evapotranspiration with greenhouse warming. *Journal of Climate*, 27(4), 1539–1558. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00233.1>
- Schwab, G., Frevert, R., Edminster, T., & Barnes, K. (1990). *Ingeniería de Conservación de Suelos y Aguas*. México.
- SENPLADES. (2014). Ficha de Cifras Generales: Cantón Cañar. Dirección De Métodos, Análisis e Investigación, 5.
- SOTERMIC. (2017). Válvula de control de tasa de flujo.
- SPRAYFORM. (2016). Rehabilitación de tuberías de fibrocemento. Obtenido de: www.sprayform.com
- Subirós, F. (1995). *El Cultivo de la Caña de Azúcar* (Primera ed). Costa Rica.
- Tarjuelo, J. M. (1991). *El riego por aspersión: Diseño y Funcionamiento*. (L.-M. Universidad de Castilla, Ed.). España.
- Urgilés, P., Claver, J., & Sebastian, M. A. (2018). Analysis of The Cost Schedule and

Earned Value Techniques for The Monitoring and Control of Complex Construction Projects, (Julio).

Valverde, J. C. (1998). Riego y drenaje. Costa Rica.

Vivar, L. (1995). Manual técnico de riego. Loja, Ecuador.

ANEXOS

Ver memoria digital, carpeta anexos.